

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ В.П. Розен  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“16” грудня \_\_\_\_\_ 2019 р.

## Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Інжиніринг автоматизованих електротехнічних комплексів  
(код і назва спеціальності)

на тему: **Тяговий електропривод шахтного електровоза з системою автоматичного керування**

Виконав: студент 2 курсу, групи \_\_\_\_\_ ОА-381мп  
(шифр групи)

Курчій В'ячеслав Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник ст. викладач Прядко С.Л.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант стартап-проект к.т.н. доцент Шевчук Н.А.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
(повна назва)

Кафедра Автоматизації управління електротехнічними комплексами  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною (освітньо-науковою) програмою

Спеціальність (спеціалізація) 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» Інжиніринг автоматизованих електротехнічних комплексів  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

«28» жовтня 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
Курчій В'ячеслав Володимирович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації **Тяговий електропривод шахтного електровоза з системою автоматичного керування**

науковий керівник дисертації Прядко С.Л., ст. викладач \_\_\_\_\_,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «04» 11 2019 р. №3816-с

2. Строк подання студентом дисертації 16.12.2019

3. Об'єкт дослідження: є електромеханічні системи шахтних акумуляторних електровозів

4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): є електромеханічні та електроенергетичні характеристики АЕП шахтних акумуляторних електровозів при регулюванні напруги за допомогою широтно -імпульсних перетворювачів з доданням у коло живлення суперконденсатора.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- провести аналіз тягових двигунів та енергоефективних перетворювачів, шахтних акумуляторних електровозів;

- розробити структурні схеми тягового електроприводу шахтних акумуляторних електровозів на базі тягових електродвигунів послідовного збудження послідовного збудження з широтно імпульсним перетворювачем та комбінованою системою живлення акумулятор – суперконденсатор; Вихідні дані електродвигуна ДТТР:

$P_n = 15$  кВт;  $U_n = 120$ В;  $I_n = 160$  А

- зробити розрахунки та провести моделювання електроприводу  
- розробити систему автоматизованого керування тіговими двигунами шахтного електровоза

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1 стаття

8. Дата видачі завдання: 01.10.2019

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вибір і затвердження теми.	01.10.2019	
2	Підбір і ознайомлення з літературою.	3 02.10 до 12.10 2019	
3	Складання плану, розробка індивідуального завдання на магістерську дисертацію та календарного плану виконання магістерської дисертації	3 13.10 до 18.10 2019	
4	Поглиблене вивчення літературних джерел і написання теоретичної частини магістерської дипломної роботи.	3 19.10 до 10.11	
5	Збір і аналітична обробка статистичних матеріалів з теми дослідження.	3 10.11 до 11.10	
6	Написання магістерської дисертації та її оформлення.	3 11.10 до 02.12	
7	Розробка системи тягового електроприводу	15.11 до 2.12	
8	Розробка стартапу	20.11 до 30.11	
9	Відгук наукового керівника на магістерську дипломну роботу.	03.12	
10	Подання магістерської дисертації в ЕК та її захист.	9.12. до 10.12.209	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Курчій В.В

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

(підпис)

Прядко С.Л.

(ініціали, прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація на тему «Тяговий електропривод шахтного електровоза з системою автоматичного керування»: 127с., 46 рис., 29 табл., , 39джерел.

**Мета дослідження** - покращення енергетичних показників систем тягового електропривода акумуляторного електровоза на базі двигуна постійного струму з послідовним збудженням та імпульсним регулятором напруги шляхом додавання в систему живлення суперконденсатора для накопичення електроенергії, яка утворюється в гальмівних режимах.

**Об'єктом дослідження** є шахтні акумуляторні електровози з двигунами постійного струму послідовного збудження та автоматизовані системи керування.

**Предметом дослідження** є електромеханічні, електромагнітні та енергетичні процеси в системах електропривода шахтного акумуляторного електровоза з двигуном постійного струму та широтно- імпульсним регулятором напруги.

Енергозбереження, точніше раціоналізація виробництва, розподіли і використання всіх видів енергії, стало в останні 10-15 років разом з інформатизацією і комп'ютеризацією, одним з основних пріоритетних напрямків технічної політики у всіх розвинутих країнах світу.. Вітчизняні рудникові електровози оснащені тяговим електроприводом (ТЕП) з електричними двигунами постійного струму та резисторно-контакторною системою керування. Даний тип ТЕП недостатньо ефективний, неекономічний і потребує прискорених темпів заміни на нові, сучасні види. Найбільш перспективними для електровозів з ТЕД постійного струму слід визнати широтно-імпульсні та частотно-імпульсні системи керування, які забезпечують плавний пуск і гальмування потягів. При цьому економія електроенергії може досягати 25-30%, підвищення коефіцієнта використання зчпної ваги - 40%. Підвищення енергоефективності та модернізація рудничних електровозів може проводитися заміною реостатних і

ступінчастих систем керування на тиристорно-транзисторні, широтно-імпульсні і частотні.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропонована система тягового електропривод на базі ТЕД послідовного збудження з широтно імпульсним регулятором напруги та комбінованою системою живлення акумулятор – суперконденсатор, що дозволить:

- реверсування за допомогою спеціального безконтактного перемикача в якірному ланцюзі електродвигуна;

- роботу на м'якій частині механічної характеристики при підвищених навантаженнях і жорсткій- при малих і негативних навантаженнях, з автоматичним переходом з рушійного режиму в режим рекуперативного гальмування і назад;

- безреостатний пуск і імпульсне регулювання швидкості, як в рушійному режимі, так і в гальмівному - при русі потяга на самокатном ухилі.

**Ключові слова:** енергозбереження, тяговий електропривод, суперконденсатор, імпульсне регулювання напруги, система керування

## **АННОТАЦІЯ**

Магистерская диссертация на тему «Тяговый электропривод шахтного электровоза с системой автоматического управления»: 127 с., 46 рис., 29 табл., 39 источников.

**Цель исследования** - улучшение энергетических показателей систем тягового электропривода аккумуляторного электровоза на базе двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением и импульсным регулятором напряжения путем добавления в систему питания суперкнденсатора для накопления электроэнергии, которая образуется в тормозных режимах.

**Объектом исследования** являются шахтные аккумуляторные электровозы с двигателями постоянного тока последовательного возбуждения и автоматизированные системы управления.

**Предметом исследования** являются электромеханические, электромагнитные и энергетические процессы в системах электропривода шахтного аккумуляторного электровоза с двигателем постоянного тока и широтно- импульсным регулятором напряжения.

Энергосбережение, точнее рационализация производства, распределения и использования всех видов энергии, стало в последние 10-15 лет вместе с информатизацией и компьютеризацией, одним из основных приоритетных направлений технической политики во всех развитых странах мира .. Отечественные рудничные электровозы оснащены тяговым электроприводом (ТЭП ) с электрическими двигателями постоянного тока и резисторно- контактной системой управления. Данный тип ТЭП недостаточно эффективен, неэкономичный и требует ускоренных темпов замены на новые, современные виды. Наиболее перспективными для электровозов с ТЭД постоянного тока следует признать широтно-импульсные и частотно- импульсные системы управления, обеспечивают плавный пуск и торможение поездов. При этом экономия электроэнергии может достигать 25-30%, повышение коэффициента использования сцепного веса - 40%. Повышение энергоэффективности и модернизация рудничных электровозов может проводиться заменой реостатных и ступенчатых систем управления на тиристорно-транзисторные, широтно-импульсные и частотные.

**Практическое значение полученных результатов.** Предложенная система тягового электропривод на базе ТЭД последовательного возбуждения с широтно импульсным регулятором напряжения и комбинированной системой питания аккумулятор - суперконденсатор, что позволит:

- реверсирования с помощью специального бесконтактного переключателя в якорной цепи электродвигателя;

- работа на мягкой части механической характеристики при повышенных нагрузках и жесткой - при малых и отрицательных нагрузках, с автоматическим переходом с движущего режима в режим рекуперативного торможения и обратно;

- безреостатный пуск и импульсное регулирование скорости, как в движущем режиме, так и в тормозном - при движении поезда на самокатный уклоне.

**Ключевые слова:** энергосбережение, тяговый электропривод, суперконденсатор, импульсное регулирование напряжения, система

### SUMMARY

Master's thesis on "Traction electric drive of a mine electric locomotive with automatic control system": 127pages, 46 figures, 29 tables., 39 sources.

The purpose of the study is to improve the energy performance of traction electric drive systems based on a DC motor with sequential excitation and a pulse voltage regulator by adding a supercondenser to the power system for the accumulation of electricity generated in the brake modes.

The subject of the study are mine electric locomotives with DC motors and automated control systems.

The subject of the study is electromechanical, electromagnetic and energy processes in electric drive systems of a mine battery electric locomotive with a DC motor and pulse-width regulator of voltage.

Energy saving, more precisely rationalization of production, distribution and use of all types of energy, has become, in the last 10-15 years, together with computerization and computerization, one of the main priority areas of technical policy in all developed countries of the world. Domestic mine electric locomotives are equipped with traction electric drive (TEP ) with DC electric motors and resistor contactor control system. This type of thermal power plant is not efficient enough, it is uneconomical and needs an accelerated rate of replacement for new, modern types. The most promising for electric locomotives with direct current

TEDs should be recognized as pulse-width and frequency-pulse control systems that provide smooth starting and braking trains. At the same time, energy savings can reach 25-30%, increasing the utilization of coupling weight - 40%. Improving energy efficiency and modernizing mine electric locomotives can be done by replacing rheostat and stage control systems with thyristor-transistor, pulse-width and frequency control.

The practical significance of the results obtained. A TED series traction drive with a pulse width regulator and a combined battery power system - supercapacitor, is proposed to enable:

- reversing by means of a special contactless switch in the anchor chain of the motor;

- work on the soft part of the mechanical characteristics at high loads and rigid - at low and negative loads, with automatic transition from the driving mode to the mode of regenerative braking and back;

- unrestrained start-up and impulse speed control, both in the driving mode and in the brake - when driving a train on a scooter slope.

Keywords: power saving, traction drive, supercapacitor, pulse voltage control, control system

Key words: diagnostics, asynchronous motor, electromechanical system.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень.....	11
Вступ.....	12
Розділ 1. Аналітичний огляд тягових електроприводів постійного та змінного струму .....	14
1. 1 Основні елементи електровозної відкатки.....	14
1. 2 Основні типи рудничних електровозів і області їх застосування.....	14
1. 3 Аналіз структур тягового електропривода.....	21.
1. 4 Напрямки вдосконалення та модернізація шахтних електровозів.....	39
Висновки до першого розділу.....	47
Розділ 2. Тягові розрахунки .....	49
2.1 Навантажувальні діаграми електровозної відкатки .....	49
2. 2 Розрахунок електровозної відкатки .....	51
Розділ 3 Розрахунок параметрів і вибір силових кіл шахтного електровоза з тяговим двигуном постійного струму.....	57
3. 1. Моделювання електроприводу з двигуном постійного струму послідовного збудження та широтно імпульсним перетворювачем.....	73
<b>3.2</b> Розрахунок перехідних електромагнітних процесів в електроприводі електровоза .....	75
Висновки до 3 розділу .....	78
Розділ4 .Технічні засоби автоматизації рейкового транспорту шахт .....	79
4. 1. Автоматизовані системи управління рухом потягів .....	<b>82</b>
<b>4.2</b> Система контролю безпеки і параметрів електровоза.....	<b>103</b>
Розділ 5 .Стартап-проект Застосування іоністора (суперконденсатора) для живлення шахтного акумуляторного електровоза в старт-стопних режимах.....	107
5. 1 . Цілі та етапи реалізації стартап-проекту.....	107
5.2 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту .....	108

5.3 Аналіз конкурентного середовища .....	112
5.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту.....	113
5.5 Ключові види діяльності та партнери.....	114
5.6 Прямі матеріальні витрати.....	115
5.7 Інші прямі витрати.....	118.
5.9 Канали збуту.....	118
5.10 Бізнес-модель проекту.....	119
5.11 Термін окупності стартап-проекту та висновки.....	120
Висновки до магістерської дисертації.....	121
Перелік посилань.....	123

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ**

- АЦП – аналого-цифровий перетворювач;  
ТАД – тяговий асинхронний електродвигун;  
ТЕП – тяговий електропривод  
ШП- широтно-імпульсний перетворювач  
ІРН – імпульсний регулятор напруги  
ГВП – гірничовидобувне підприємство  
ЕМС – електромеханічна система;  
АЕП – автоматизований електричний привод;  
ККД – коефіцієнт корисної дії;  
ГЕН – графік електричного навантаження;  
ПЯЕ – показники якості електроенергії;  
ЕН – електричне навантаження;  
ВС - вимірювальні системи;  
ЗВ - цифрові засоби вимірювання;  
ПФ – передатна функція;  
ПЕОМ – персональна електронна обчислювальна машина;  
СКЗ - середньоквадратичне значення;  
КЗ – коротке замикання;  
ЕРС – електрорушійна сила;  
ЧРП - частотно-регульований привод;

## ВСТУП

Програмою “Українське вугілля” до 2020 р. намічено довести кількість шахт до 20 з навантаженням більше 1 млн. т. вугілля в рік за рахунок застосування вітчизняної техніки, яка відповідає світовому рівню, і нових технологій вуглевидобування. Завдання підземного транспорту – забезпечити доставку всього об’єму вуглевидобутку від лави до поверхні з максимальною швидкістю і мінімальними матеріальними витратами. Підземний транспорт залишається одним з проблемних запитань вугільної промисловості, оскільки тільки з 2010 року намітився необхідний об’єм його фінансування. Такий стан пояснюється, з одного боку гірничо-геологічними умовами, які постійно погіршуються через віддалення і розсосередження видобувних ділянок в межах шахтного поля старих шахт, а з іншої,- низьким технічним рівнем транспортного обладнання, що не відповідає сучасним вимогам до гірничовидобувних підприємств, безпеки і промсанітарії. Особливо ці фактори позначаються в нових умовах господарювання при жорсткій економії матеріальних і фінансових ресурсів.

Великого значення в роботі підземного транспорту набувають не тільки надійність і ефективність його використання, але й витрати на обладнання, матеріали, електроенергію, а також трудовитрати. На цей час доставка вугілля, матеріалів і обладнання в шахті здійснюється рейковим і конвеєрним транспортом. На квітень 2017 року об’єм перевезень кожним видом транспорту був приблизно однаковий. Ефективність того чи іншого транспорту прораховується при будівництві підприємства і має як технічне, так і економічне обґрунтування, але нові шахти в Україні не будувались давно і багато з них допрацьовують свої ресурси, тому аналізування стану роботи транспорту не проводиться.

Більшість шахт в Україні веде видобування вугілля поблизу меж шахтного поля при значній довжині ( 3-5 км. і більше) транспортного ланцюга від ствола до очисного вибою. Так на шахті №9 “Нововолинська”

ДХК “Волиньвугілля” довжина електровозної відкатки складає 9.7 км. Для таких шахт немає необхідності будувати конвейєрну доставку вугілля, а потрібно створювати ланцюги з конвейєрного і локомотивного транспорту зі збільшенням частки останнього як більш раціонального в даних умовах.

Електровозний транспорт для таких шахт єдиний ефективний як з економічної, так і з технічної точки зору.

Враховуючи, що локомотивний транспорт зберігає домінуючий стан при доставці вантажів по горизонтальних виробках шахт і рудників, необхідно провести його модернізацію. Існуючий парк рудникових електровозів складається з акумуляторних (80%), контактних (12%) електровозів і з гірвоозів (8%). За останні 5 років парк скоротився в 2 рази: з 2900 одиниць в 1997 р. до 790 одиниць. в 2015 р. і поповнився всього 50 електровозами. Обладнання електровозів сучасними системами керування дозволить значно покращити роботу електровозного транспорту на гірничовидобувних підприємствах.

## **1 РОЗДІЛ АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПОСТІЙНОГО ТА ЗМІННОГО СТУМУ**

### **1.1 Основні елементи електровозної відкатки**

Переміщення гірських порід і, зокрема, корисних копалин є одним з основних виробничих процесів гірничого підприємства. Цим пояснюється та виняткова роль, яка належить рудниковому транспорту на підприємстві.. Надійна, чітка і безперебійна робота транспорту в значній мірі підвищує використання основних механізмів, сприяє зниженню собівартості продукції і є обов'язковою умовою виконання виробничої програми кожного гірничого підприємства.

Однією з найважливіших складових частин транспорту є електровозна відкатка. У порівнянні з іншими видами механізованого рудникового транспорту (канатна відкатка; конвейерний транспорт) вона в переважній більшості випадків найбільш економічна і продуктивна.

Головну роль в системі підземної електровозної відкатки грає електровоз. Під копальневими або шахтними електровозами розуміють електровози, призначені для роботи в підземних виробках вугільних або рудних шахт.

Розрізняють електровози постійного і змінного струму. Останні можуть бути однофазно- постійного струму, з випрямлячами на електровозі, або однофазного струму, з двигунами змінного струму. Електровози змінного струму працюють з перетворювачами постійного струму в змінний струм (інверторами)

### **1.2 Основні типи рудничних електровозів і області їх застосування**

В даний час на вугільних і рудних шахтах застосовують два основних типа рудникових (шахтних) електровозів – контактні та акумуляторні.

У комплекс відкатки контактними електровозами) входять: тягова підстанція з трансформатором і перетворювальним агрегатом, повітряний контактний провід, електровоз з тяговим двигуном Електровози отримують живлення постійним струмом напругою 250 або 550 В від контактного

проводу через струмоприймачі У порівнянні з акумуляторними контактні електровози простіше по конструкції і дешевше; вони більш зручні і економічні в експлуатації; мають велику силу тяги і швидкість руху, а отже і більшу продуктивність; менше витрачають енергії. Однак іскроутворення між контактним проводом і струмоприймачами, між рейками і колесами унеможливує їх застосування в небезпечних щодо газу і пилу вугільних шахтах, і. в основному їх використовують на всіх рудникових шахтах. Відкатка контактними електровозами є найбільш економічною. Це пояснюється значним зниженням експлуатаційних витрат, які повністю перебивають деяке збільшення капітальних витрат. Капітальні витрати визначаються, з одного боку, високою вартістю електровоза, а з іншого - необхідністю обладнання тягових підстанцій і тягових мереж. Експлуатаційні витрати знижуються головним чином за рахунок збільшення швидкості, руху, великих мас вантажу і зменшення витрат на обслуговування. Експлуатація акумуляторних електровозів обходиться значно дорожче внаслідок низького ККД., малого терміну служби і великої вартості акумуляторних батарей.

У деяких випадках доцільно застосовувати електровози змішаного живлення: контактно-кабельні і контактно-аккумуляторні.

### **Типи тягових двигунів**

Робота тягових двигунів протікає в досить важких умовах при навантаженнях, що змінюються по величині в найширших межах. Тягові двигуни рудничних електровозів в період руху відчують безперервну тряску, часті поштовхи і удари з-за нерівностей колії. Крім того, вони піддаються всіляким зовнішнім впливам (головним чином, пил і волога). Тяговий двигун повинен мати велику перевантажувальну здатність через необхідність розвивати значну силу тяги під час пуску, а також і в шляху при подоланні великих підйомів. Установка тягових двигунів електровоза в обмеженому просторі вимагає значного зменшення їх розмірів. У той же час вони повинні бути досить доступними і зручними для огляду, ремонту і

обслуговування. Нарешті, тяговий двигун повинен бути економічним, мати високий коефіцієнт корисної дії, і мати характеристики, що забезпечують максимальне використання його потужності при різних умовах руху і мінімальні витрати енергії на рух поїздів. З усіх існуючих типів електричних двигунів найбільше підходить для зазначених умов двигун постійного струму послідовного збудження.

### ***Двигуни постійного струму послідовного збудження***

У порівнянні з двигунами постійного струму паралельного збудження і асинхронними двигунами змінного струму двигуни послідовного збудження мають наступні переваги:

- при однакових умовах руху і однаковому нагрузочном струмі двигун послідовного збудження розвиває більший крутний момент, тому при змінах навантаження він буде викликати менші коливання потужності, споживаної з мережі;
- на роботі двигуна послідовного збудження майже не відображаються коливання напруги в контактній мережі, так як при цьому змінюється швидкість двигуна, а сила тяги залишається практично незмінною;
- перехідні процеси пуску і гальмування в двигунах послідовного збудження протікають в більш сприятливих умовах, що забезпечують підвищену експлуатаційну надійність у важких режимах роботи;
- навантаження між двигунами послідовного збудження, що працюють паралельно на загальну механічну систему, що складається з колісних пар, пов'язаних між собою рейками, розподіляється більш рівномірно, і робота двигунів в цих умовах протікає більш стійко.

У разі нерівності діаметрів ведучих коліс двигун осі з меншим діаметром коліс матиме більшу частоту обертання якоря, що при паралельній роботі викличе різні навантажувальні струми двигунів. У цих умовах різниця навантажень двигунів послідовного збудження завдяки більшій крутизні швидкісних характеристик виходить незначною, в той 'час як у двигунів паралельного збудження вона може скласти 30-40% і вище. Зазначені

властивості двигунів послідовного збудження зумовлювали їх виключне поширення в електричній тязі, в тому числі і рудниковій.

Що ж стосується можливості переходу живлення електровозів на змінний струм, як це має місце на електровозному транспорті відкритих гірських робіт, то в підземних умовах таке переведення недоцільне внаслідок обмеження напруги в контактній мережі

У рудниковій електровозній тязі застосовують тягові двигуни різних напруг і потужностей. Свого часу на контактних електровозах встановлювалися тягові двигуни серій ДК і ЕДР в рудниковому нормальному виконанні на напругу 250 В. Нині вони замінені двигунами ЕТ і ДПТР такого ж виконання. Для акумуляторних електровозів виготовляються тягові двигуни серій ЕДР, ЕТ і ДПТР (рис 1.1) в рудниковому вибухобезпечному виконанні на напругу від 40 до 200 В. Термін служби електродвигунів нових серій (ДПТР, ЕТ) до капітального ремонту складає 6 років, а ймовірна безвідмовність роботи протягом 720 ч дорівнює 0,96 при середньому добовому навантаженні 14 годин.. Електродвигуни Харківський завод «Електромашина».

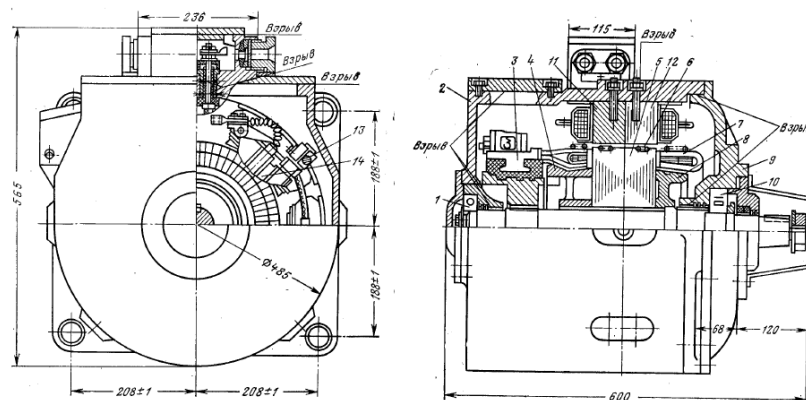


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд двигуна ДПТР-12

Застосовувані в даний час електровози оснащені тяговим приводом з двигунами постійного струму послідовного збудження і реостатним керуванням з силовим контролером. Подібний привід має цілий ряд недоліків, а саме:

- втрати енергії в пусковому реостаті;
- м'яка механічна характеристика в зоні малих навантажень, яка ускладнює управління електровозом в умовах змінного ухилу шахтних виробок, що призводить до зниження безпеки через можливе перевищення швидкості;
- складність переходу в гальмівний режим;
- застосування колекторних двигунів знижує надійність електровоза в шахтних умовах і ускладнює його технічне обслуговування;
- складність введення захистів і блокувань, а також організації дистанційного і автоматичного управління.

### ***Асинхронні тягові двигуни***

Усунути перераховані недоліки можна шляхом застосування сучасних видів електроприводу, зокрема, асинхронного. Асинхронний тяговий двигун надійніший і менш вимогливий до технічного обслуговування в порівнянні з колекторним двигуном постійного струму, а спільно з напівпровідниковим пристроєм він володіє суттєво кращою керованістю.

Спроби застосування асинхронного двигуна для цілей тяги мають давню історію, з моменту появи електротяги взагалі, проте про реальний практичному застосуванні асинхронного приводу стало можливим говорити лише в другій половині ХХ століття, коли стали з'являтися статичні перетворюючі пристрої прийнятних габаритів і вартості.

В даний час, сучасний рівень розвитку електронної техніки дозволяє широко застосовувати безколекторний регульований привід, в тому числі на шахтних електровозах. Однак шахтні електровози мають ряд особливостей, наявність яких не дозволяє безпосередньо перенести на них рішення, які існують для загальнопромислових приводів. Серед зазначених особливостей можна назвати:

- зосередженість всіх засобів гальмування поїзда на локомотиві, живлення від джерела з обмеженим запасом енергії (аккумуляторної батареї);

- специфічні умови зчеплення провідних коліс, а також спеціальні вимоги безпеки (в першу чергу, за величиною гальмівного шляху).

Таким чином, є ряд питань, які потребують вирішення при побудові асинхронного тягового приводу для шахтного електровоза. З огляду на те, що знаходяться в даний час в експлуатації на вітчизняних шахтах електровози застаріли як фізично, так і морально, вирішення питань застосування на шахтних електровозах нового виду приводу є важливою науково-технічною задачею для розробки нових типів електровозів. Загальний вигляд асинхронного тягового двигуна АТД-1.4У1 потужністю  $P_n = 54$  кВт,  $U_n = 220$  В і  $I_n = 179$  А наведено на рис. 1.2

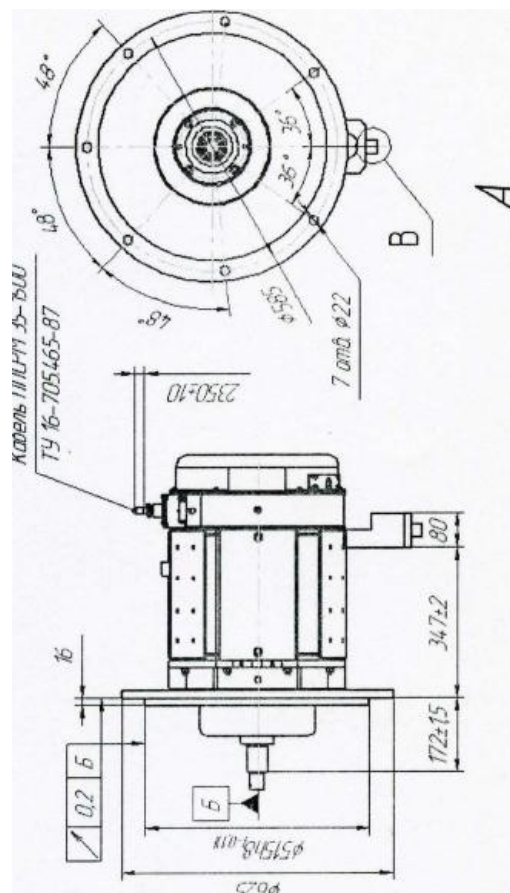


Рисунок 1. – Загальний вигляд двигуна АТД-1.4У1

### **Вентильні тягові двигуни [ ]**

Дуже перспективним напрямом для є тяговий вентильний електропривод для шахтного електровоза. Вентильний електропривод за схемою «вентильний двигун» призначений для заміни колекторного електродвигуна

постійного струму типу ДРТ-13 в приводі рудничних акумулятор-них електровозів і функціонує спільно з системою управління електровозом СУЕ-120-РВ. За рахунок відсутності щітково-колекторного вузла вентильний електропривод є більш надійним і безпечним при експлуатації в умовах шахти. Конструктивно вентильний електропривод складається з вентильного (бесколлекторного) двигуна з інтегрованим силовим перетворювачем, керуючим двигуном. ЗЕП отримує живлення і керуючі сигнали від системи керування за допомогою аналогового або цифрового інтерфейсів, що дозволяють повністю контролювати роботу електроприводу. Замінений тяговий колекторний електропривод постійного струму з системою управління Силовий інвертор забезпечує:

- захист від виходу напруги батареї за межі допустимих значень при її розряді;
  - три профілю завдання тягового зусилля приводу від Суе;
  - контроль напруги акумуляторної батареї з точністю 0,2 В в діапазоні від 0 до 200 В;
  - контроль значення середнього струму двигуна з точністю 1А в діапазоні від 0 до 300А;
  - контроль температури силових ключів інвертора з точністю 0,50С в діапазоні від 0 до 1250С;
  - контроль температури двигуна з точністю 0,50С в діапазоні від 0 до 1250С;
  - обмеження струму інвертора по температурі;
  - рекуперацію енергії при гальмуванні електровоза;
  - плавну зміну заданого значення струму за законом, визначеному профілем роботи;
  - обмеження струму ЗЕП при його перевантаженні;
  - управління від аналогового або цифрового інтерфейсу з можливістю перемикачання між ними за допомогою DIP – перемикача
- Вентильний двигун має потужність  $P_n = 7,1$  кВт,  $U_n = 120$ В і  $I_n = 60$  А наведено на рис 1.3

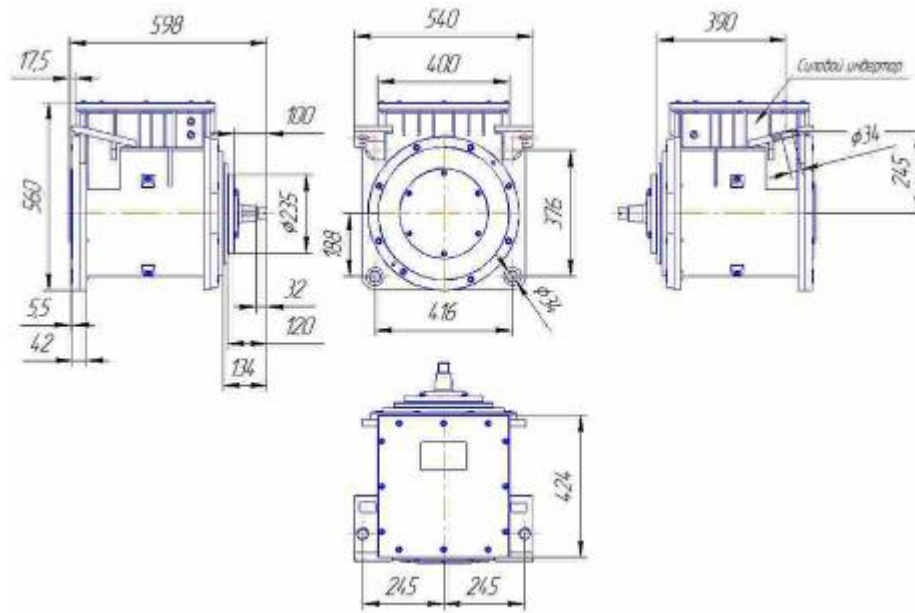


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд двигуна вентильного двигуна

### 1.3 Аналіз структур тягового електропривода

#### *Імпульсне керування тяговими двигунами електровоза*

Зміна напруги на контактах тягового двигуна при імпульсному регулюванні здійснюється подаванням на вхід імпульсного перетворювача керуючого сигналу. Середня величина напруги на навантаженні при імпульсному регулюванні залежить від тривалості, частоти й амплітуди імпульсів. При постійній амплітуді імпульсів напруги, можливі чотири способи регулювання:

частотно-імпульсні з  $T_i = \text{const}$  ЧІР-I (рисунок 1.4 а)

$T_n = \text{const}$  — ЧІР-II (рисунок 1.4 б);

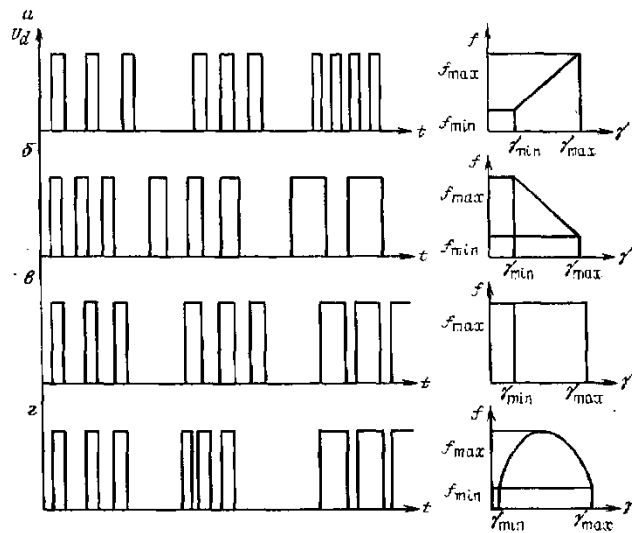
широтно-імпульсний — ШІР (рисунок 1.4 в);

частотно-широтно-імпульсний — ЧШІР (рисунок 1.4 г).

праворуч показані закони зміни частоти і шпаруватості регулювання [ ].

Для кожного з зазначених вище способів регулювання мають характерні співвідношення. Розглянемо ці співвідношення, припускаючи, що тиристорно-імпульсні перетворювачі мають ідеальні характеристики

ключа, тобто в провідному стані в перебігу часу імпульсу  $T_{и}$  до навантаження прикладена повна середня напруга джерела живлення  $U$ , а в непровідному стані напруга на навантаженні дорівнює нулю.



Рісунк 1.4 Імпульсні способи регулювання напруги на контактах

Перший спосіб регулювання - частотно-імпульсний (ЧІР-1). При частотно-імпульсному способі регулювання тривалість провідного стану перетворювача залишається постійної ( $T_{и} = \text{const}$ ), а змінюється частота повторення імпульсних циклів ( $f = \text{var}$ ). Якщо позначити середня напруга на двигуні  $U_d$ , а напруга джерела живлення  $U$ , то спосіб частотно-імпульсного регулювання з постійним часом характеризується наступним співвідношенням:

$$\frac{U_d}{U} = \frac{T_u}{T} = T_{и} f = \gamma \quad (1.1)$$

де:  $\gamma$  — відносна тривалість провідного стану перетворювача, тобто шпаруватість імпульсів.

Другий спосіб регулювання (ЧІР-11) з перемінною частотою регулювання і постійним часом закритого стану тиристора ( $f = \text{var}$ ,  $T_{и} = \text{const}$ ) поки не знайшов застосування. Однак варто вказати, що при цьому способі пуск здійснюється при збільшеній частоті, що сприятливо позначається на

тягових властивостях електровозів і зменшує габарити фільтрів. Відносне середнє значення напруги  $U_d$  визначається наступним вираженням:

$$U_{*d} = \frac{U_d}{U} = \frac{T - T_u}{T} = 1 - T_{if} = 1 - \gamma \quad (1.2)$$

Як видно зі співвідношення (1.2), відносне середнє значення напруги на двигуні збільшується при зменшенні частоти регулювання.

Третій спосіб — з постійною частотою регулювання і перемінною тривалістю імпульсу (рис 1.1 в) — зветься широтно-імпульсним (ШИР). В основі широтно-імпульсного способу регулювання лежить постійна частота проходження імпульсів ( $f = \text{const}$ ). Відносне середнє значення напруги на виході тиристорно-імпульсного перетворювача регулюється зміною тривалості режиму провідного стану тиристорного перетворювача ( $T_{и} = \text{var}$ ):

$$U_{*d} = \frac{U_d}{T} = \frac{T_u}{T} = T_{и} f \quad (1.3)$$

При цьому способі частота регулювання повинна бути обрана так, щоб спектр виникаючих гармонік звужувався, і зменшувався вплив пульсації струму на пристрої сигналізації і зв'язку.

Четвертий спосіб являє собою подвійне регулювання по першому і третьому способам і зветься частотно-широтного (ЧШПР) способу регулювання (див. Рис. 3.3,г). Середня напруга на навантаженні регулюється по будь-якому необхідному законі автоматичною зміною тривалості режиму провідного стану перетворювача ( $T_{и} = \text{var}$ ) і тривалості імпульсного циклу ( $T = 1/f = \text{var}$ ):

$$\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{T_{u1}}{T_{u2}} = \frac{f1}{f2} \quad (1.4)$$

де:  $U_{d1}$ ,  $U_{d2}$ ,  $f_1$ ,  $f_2$  — відповідно напруга і частота двох режимів ЧШПР;

$T_{и1}$ ,  $T_{и2}$  -тривалість провідного стану тиристорного перетворювача двох режимів ЧШПР.

При цьому способі регулювання можуть бути отримані будь-які частотні характеристики регулювання. Кожний з цих способів має ті чи інші переваги і

недоліки. Становить інтерес відшукування найбільш раціонального способу регулювання при керуванні перетворювачами шахтних електровозів.

Одним із критеріїв якості системи регулювання є коефіцієнт пульсації струму тягового двигуна. Як показують дослідження, величина коефіцієнта пульсації  $k_i$ , визначається за формулою:

$$k_i = \beta \gamma \frac{1 - \gamma}{2 - \beta \gamma} \quad (1.5)$$

де:  $\beta$  — відносна величина періоду регулювання, що може бути знайдена за формулою:

$$\beta = \frac{T}{t \gamma} \quad (1.6)$$

де:  $T$  — період імпульсного циклу;

$f$  — постійна часу двигуна з обліком противо-е. д. с.

Спеціальний аналіз приведених вище виразів показує, що найбільша пульсація струму двигуна спостерігається при шпаруватості, рівної приблизно 0,5, і залежить від частоти регулювання. Зменшення коефіцієнта пульсації вимагає збільшення частоти регулювання. По верхню межу частоти обмежується трьома факторами: ростом втрат у тиристорах; максимальною паспортною частотою переключення даного типу тиристорів; погіршенням регулювальних властивостей системи імпульсного регулювання в цілому, тобто зменшенням діапазону регулювання середньої напруги на двигуні.

Розглядаючи залежність  $k_i = f(\gamma)$  для чотирьох способів регулювання, можна помітити, що величини розмаху пульсації широтно частотний і широтний способи регулювання приблизно рівноцінні, а частотний спосіб має коефіцієнт пульсації в 3—4 рази більше при однакових параметрах двигуна і припустимій частоті переключенні тиристорів.

Таким чином, якщо необхідно забезпечити припустиму пульсацію струму тягового двигуна, то при використанні частотних способів регулювання необхідно мати значно велику (у 3—4 рази) індуктивність у

колі двигуна в порівнянні із широтно-імпульсним і широтно-частотним методами регулювання.

Для з'ясування, який із двох останніх способів регулювання краще, порівняємо їх діапазон регулювання. Тому що тиристорні перетворювачі, застосовувані для імпульсного регулювання, мають рівнобіжне ємнісне запирання, що неминуче під час гасіння і перезаряду до двигуна прикладається імпульс напруги. Середня величина напруги, що прикладається, тим більше, чим більше частота регулювання. Якщо прийняти, що частота широтно-імпульсного способу регулювання дорівнює максимальній частоті частотно-широтного способу (у цьому випадку максимальна величина коефіцієнта пульсації струму двигуна для обох способів однакова), то одержимо, що по діапазоні регулювання частотно-широтний метод з регулюванням по раціональній частотній характеристиці є найкращим.

### ***Імпульсні тягові електроприводи з двигунами постійного струму***

Розвиток структур тягового електропривода рудникових акумуляторних електровозів пройшло шлях від резисторно - контактних схем через безрезисторну до схем з тиристорними перервачами струму, названими також імпульсними перетворювачами постійного струму.

В даний час представлені сучасні схеми переключення і регулювання, використовувані ЗОА „Амплітуда”.

Безрезисторна схема електропривода, реалізована на електровозі АМ8Д, спрощено представлена на рис.1.5, вона має переваги, що не знайшли поки продовження і розвитку в схемах з ПП.

Перше, - акумуляторна батарея елемровоза АМ8Д розділена на дві секції, що з'єднуються між собою або паралельно, або послідовно за допомогою двох діодів і одного контакту. Так, при пуску електровоза, коли потрібно великий струм при низькій напрузі, секції з'єднуються паралельно, унаслідок чого їхнє токове навантаження знижується вдвічі. В міру розгону електровоза струм падає, потрібно підвищення напруги на двигунах, тоді

секції акумуляторної батареї з'єднуються послідовно. Завдяки зниженню рівня струмів, споживаних від акумуляторної батареї, вона не розряджається глибоко, збільшується час пробігу локомотива між штатними зарядками і термін служби акумуляторної батареї.

Друге, - передбачене також послідовне з'єднання тягових двигунів при пуску і рівнобіжне з'єднання в зоні високих швидкостей, що дає ефект, аналогічний переключенню секцій акумуляторної батареї.

Отже, паралельно-послідовне з'єднання, як секцій акумуляторної батареї, так і тягових двигунів становить практичний інтерес з погляду поліпшення режиму експлуатації акумуляторної батареї і підвищення енергетичних показників. Однак, оскільки переключення схеми електропривода здійснюється східчасто контактними апаратами, мають місце поштовхи струмів.

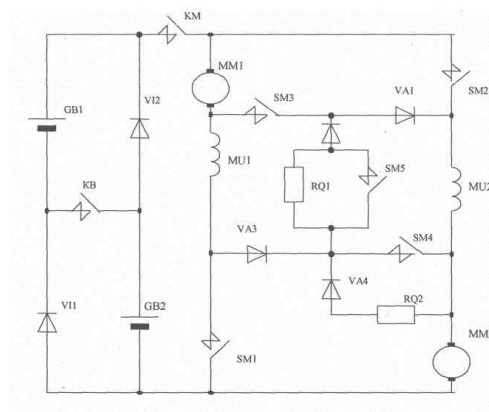


Рисунок 1.5 Принципова схема електровоза АМ8Д (безрезисторна).

Таблиця 1.1 Діаграма стану контактів.

	Позиції											
	1	2	3	a1	4	5	a2	a 3	6	T1	T2	T3
KB					X	X	X	X	X			
S M1								X	X	X	X	X
S M2									X	X	X	X
S M3			X			X				X	X	X

S M4			X			X	X	X	X			X
S M5		X	X	X	x	X	X	X	X		X	x

Безрезисторна схема тягового електропривода з ІІ. (рис.1.5). Цілком очевидно, що позбутися від поштовхів струму і здійснити плавний перехід від однієї схеми з'єднань до іншої можна тільки використовуючи ІІ із ШИМ напруги. Г Безрезисторна схема тягового електропривода з ІІ, що у розвиток схеми електровоза АМ8Д здійснюють паралельно-послідовне з'єднання секцій АБ. Імпульсні перетворювачі спрощено показані у виді напівпровідникових ключів VІІ, VІ2 і VВ. Напівпровідникові ключі VІІ і VІ2 здійснюють ШИМ напруги і при відключеному ключі VВ реалізують рівнобіжне з'єднання секцій GB1 і GB2 акумуляторні батареї. Напівпровідниковий ключ VВ забезпечує своїм включенням послідовне з'єднання секцій акумуляторної батареї при відключених ключах VІІ і VІ2 і регулює напругу на тягових двигунах ММ1 і ММ2 за допомогою ШИМ

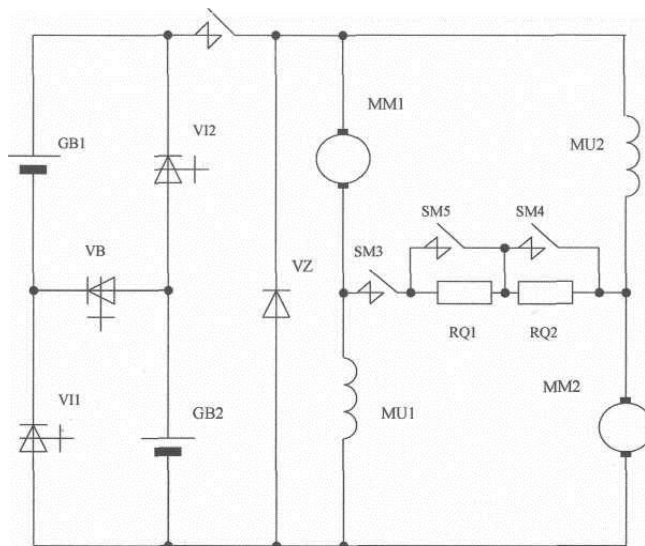


Рисунок 1.6 Безрезисторна схема тягового електропривода з ІІ.

Недоліком схеми по рис.1.5 є відсутність можливості індивідуального підрегулювання струмів тягових двигунів.

Схема тягового електропривода з роздільним живленням двигунів при пуску електровоза. Як відомо нерівномірне токове завантаження тягових двигунів особливо небажаний при пуску локомотива, оскільки не дозволяє реалізувати сумарний максимальний тяговий момент. Для вирівнювання струмів двигунів при пуску запропоноване роздільне живлення їх - кожного двигуна від своєї секції акумуляторної батареї через свій ІП, як показано на схемі електропривода на рис.6, де поділ забезпечують діоди VD1 і VD2.

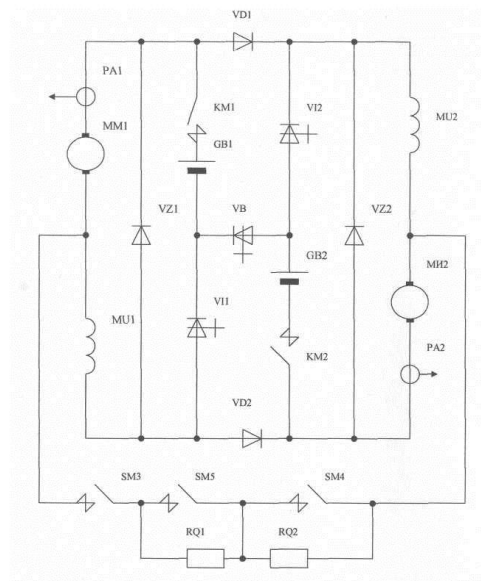


Рисунок 1.7 Схема тягового електропривода з окремим живленням двигунів при пуску локомотива.

У практиці створення ТЕП має місце таке технічне рішення як ослаблення поля тягових двигунів, оскільки воно дозволяє розширити діапазон швидкостей електровоза «нагору». У резисторно-контактних схемах застосування ОП було цілком виправдане, тому що воно було економічно в порівнянні зі східчасто регульованим резистором у ланцюзі якоря. Однак, реалізація ОП вимагає застосування резисторів і контакторів для їхнього підключення до обмоток збудження чи контакторів для паралельно-послідовного з'єднання обмоток збудження.

Використання напівпровідникових приладів для плавного безконтактного ОП двигунів - дороге задоволення. У тягових електроприводах з ИП для рудникових акумуляторних електровозів системи ОП двигунів не знайшли застосування, оскільки ИП забезпечують необхідний діапазон регулювання швидкості руху локомотива і ця обставина врахована в дійсній роботі - ОП двигунів не використано в структурах розглянутих тягових електроприводів.

Дуже важливим моментом в області розробки і реалізації в практику створення ТЕП для рудникових електровозів є питання реалізації електричного гальмування. У тому числі рекуперація електроенергії в акумуляторну батарею, резисторне гальмування. Схеми тягового електропривода за рахунок деякого ускладнення ланцюгів здатні забезпечити рекуперацію в акумуляторну батарею електроенергії, генеруємої двигунами при гальмуванні локомотива. Однак, розробляти системи рекуперації представляється передчасним. Зупиняє наступне.

У рудникових умовах застосування рекуперації електроенергії малоефективне, а в більшості випадків особливо для вугільних шахт узагалі неприйнятно по вимогах безпеки експлуатації електроустаткування. До цього питання варто додати, що середня швидкість руху рудникових локомотивів по магістральних виробленнях не перевищує 1,8 м/с і кінетична енергія, тобто можлива енергія рекуперації, пропорційна квадрату швидкості, виявляється несуттєвою і її простіше погасити в гальмових резисторах. У місцях навантаження і розвантаження складу ефект узагалі недосяжен. Крім того, застосування рекуперації на шахтних акумуляторних електровозах небажано з погляду безпеки, тому що додатковий підзаряд акумуляторної батареї супроводжується інтенсивним виділенням водню, у зв'язку з цим необхідні дослідження з визначення режиму газовиділення і розробки мір безпеки, що виходять за рамки теми дійсної роботи.

У розглянутих схемах електропривода по мал. 3.2; 3.3; і 3.4 регулювання гальмового зусилля здійснюється ступінями шляхом переключення секцій гальмових резисторів RQ1 і RQ2, загальних для обох двигунів, контакторами SM3,4,5. Звідси загальновідомі недоліки цих схем, найбільш серйозними з яких є спрацьовування контактів під струмом і кидки гальмових струмів тягових двигунів при цьому. Усунення цих недоліків бачиться у використанні ІІІ, також і в ланцюгах резисторного гальмування.

Далі приведені варіанти адаптації тягових схем з ІІІ до гальмових ланцюгів. У цих схемах використаний той самий ІІІ як у режимах тяги, так при резисторном гальмуванні.

Структури електроприводів з індивідуальними на кожен двигун гальмовими резисторами і перехресним взаємо збудженням. Структури таких електроприводів представлені на рис.1.8 для електровоза АМ8Д і на рис.1.9 використана в контролері типу КТВ . Схеми ненабагато відрізняються одна від одної. Так, схема контролера КТВ містить менше контактів за рахунок об'єднання функцій контакторів SQ1 і SQ2 в одному загальному SQ, але при цьому містить більше діодів - додані VQ1 і VQ2.

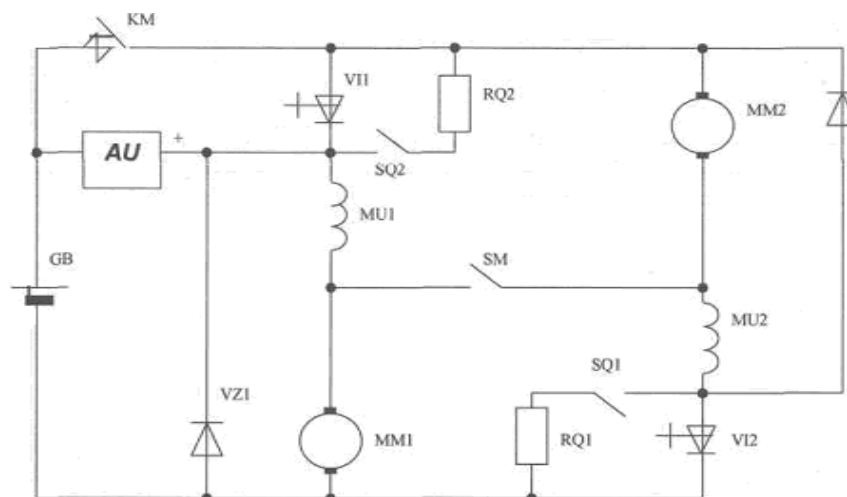


Рисунок 1.8 Принципова схема електропривода електровоза АМ8Д.

Для попереднього порушення тягових двигунів на початку гальмування, а також для їхнього надійного порушення в зоні низьких швидкостей, у приведених схемах використовується або вузол штучної комутації

тиристорів, або спеціальний пристрій АУ для підживлення обмотки збудження двигуна від акумуляторної батареї, що трохи ускладнює схеми.

У режимі гальмування в обох схемах використовується перехресне порушення тягових двигунів, перевагою якого є здатність вирівнювання ЕРС двигунів. При виникненні нерівності ЕРС, наприклад, через юз одного з двигунів, що з'явився зрівняльний струм підсилить магнітне поле двигуна з меншою ЕРС, і послабить магнітне поле двигуна з більшою ЕРС, внаслідок чого ЕРС вирівнюються.

Схеми з перехресним порушенням забезпечують майже повну рівність навантажень обох двигунів при гальмуванні, у них виключається можливість роботи одного двигуна на іншій. Схеми перехресного порушення реалізуються з невеликою кількістю контактів гальмового перемикача.

Недоліком схем є те, що при виході з ладу одного з двигунів, інший стає непрацездатним.

Схема тягового електропривода із самозбудженням у гальмовому режимі (рис.1.10). Позбавлена недоліку, відзначеного в аналізі схем з перехресним взаємозбудженням, а саме, при аварії одного з двигунів електровоз зберігає працездатність за рахунок іншого тягового двигуна.

До недоліку схеми по рис.1.10 варто віднести наявність у тяговому ланцюзі діода VQ, що дає постійно втрати потужності в тяговому режимі. Можлива заміна діода VQ контактором, однак, це веде до зниження надійності. В аналізованих варіантах схемотехнічних рішень (рис.1.10-1.12) можливий синтез схеми тягового електропривода із секціонуванням акумуляторною батареєю. У схемах для регулювання гальмівного струму використані ІП, що за допомогою ШИМ напруги, підведеного до обмоток збудження двигунів від їхніх якорів, регулюють струм порушення, а також періодично замикають гальмівні резистори, регулюючи тим самим величину опору гальмового ланцюга

У тяговому режимі включені поїзні контактори КМ1 і КМ2, контакти гальмового перемикача SU1 і SU2 розімкнуті, гальмівний контактор КQ

відключений. Пуск починається з мінімально можливої тривалості  $t_{\alpha}$ , провідного стану напівпровідникових ключів V11 і V12, що в ідеалі повинні включатися і відключатися синфазно і синхронно з заданою частотою ШИМ. Практично тягові двигуни неідентичні і мають розкид параметрів - активних і індуктивних опорів. Крім того, колісні пари, зчленовані з двигунами, мають розкид діаметрів бандажів, а також неідентичні умови зчеплення з рейками

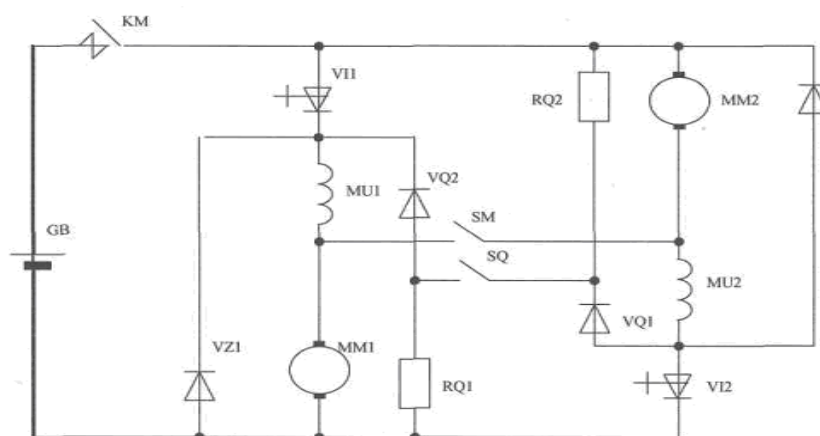


Рисунок 1.9 Принципова схема електропривода електровоза АМ8Д (з контролером КТВ).

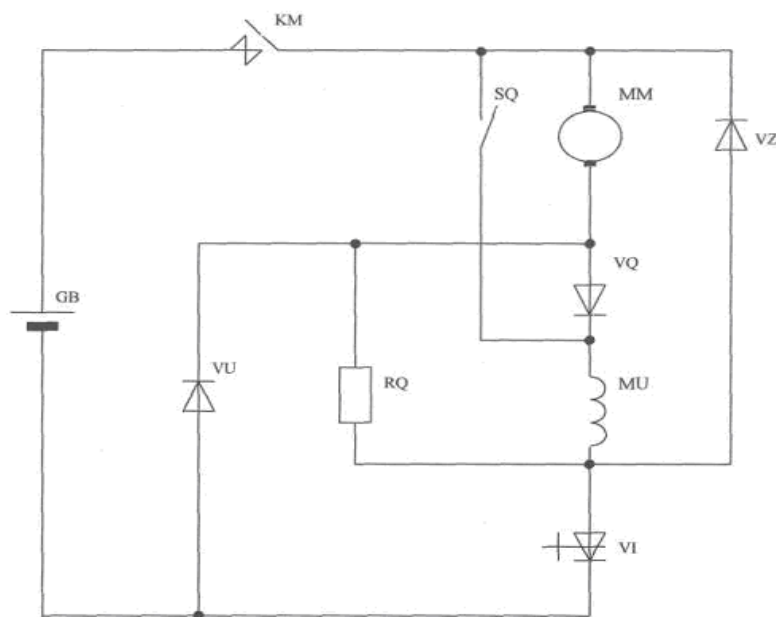


Рисунок 1.10 Принципова схема тягового електропривода з самозбудженням в режимі гальмування.

У результаті має місце розкид струмів (навантажень) двигунів. Розкид струмів небажаний, головним чином, при пуску і розгоні електровоза, коли двигуни повинні реалізувати максимальний момент і, отже, максимальні струми. Для рівномірного завантаження двигунів тривалості  $t_{\alpha 1}$  і  $t_{\alpha 2}$  відповідно ключів V11 і V12 повинні бути різними, тобто повинне бути індивідуальне регулювання двигунів у режимі пуску, тим більше, що кожний з них фактично живиться від своєї секції акумуляторної батареї, що працюють паралельно. Діоди VD1 і VD2 запобігають ривок струму між двигунами.

По мірі росту шпаруватості імпульсів вихідна напруга ПІ збільшується і досягає рівня напруги секції батареї при  $q_{V1} \approx 1$  (з урахуванням комутаційних процесів). Подальше збільшення напруги на двигунах і, отже, швидкості електровоза здійснюється плавним переходом системи електропривода на паралельно-послідовне включення секцій акумуляторної батареї.

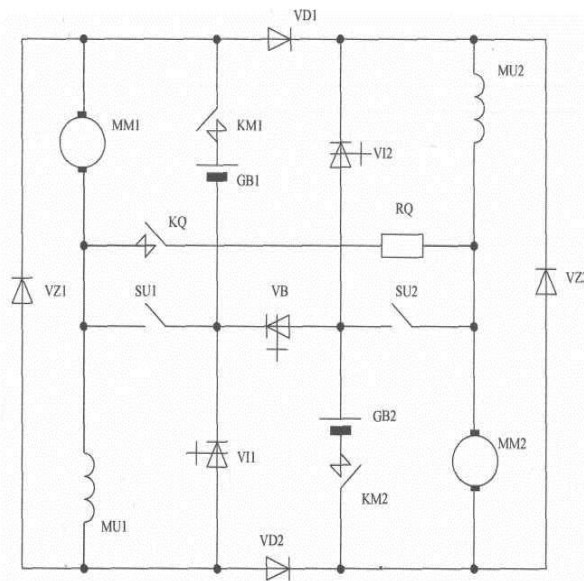


Рисунок 1.11 Синтезована схема тягового електропривода с секціонуванням акумуляторною батареєю.

Режим реалізується включенням ключа VB зі шпаруватістю  $q_{VB} \approx 0 \dots 1 \dots 1$ ; при цьому протягом провідного стану ключа VB ключі V11 і V12 відключені.

При  $q_{VB} \approx 1$  секції акумуляторної батареї включені послідовно й у схемі реалізується максимальна напруга, рівне сумі напруг двох секцій.

Перхід електропривода з тягового режиму в гальмовий здійснюється відключенням ключів VII, VI2 і VB, безструмовим розмиканням контактора KM1 і включенням гальмового контактора KQ і перемикача SU1. Знову включається ключ VB, при цьому обмотка збудження MU1 тягового двигуна MM1 одержує живлення, двигун збуджується, на затисках його якоря з'являється е.р.с, під дією якої в ланцюзі MM1-VD1-MU2-RQ-KQ-MM1 потече гальмовий струм. При цьому збуджується і другий двигун MM2. Відключаються послідовно VB і KM2, замикається контакт SU2. Гальмовий струм другого двигуна протікає по ланцюзі MM2-RQ-KQ-MU1-VD2-MM2, підтримуючи порушення першого двигуна. Таким чином, реалізується перехресне порушення двигунів.

В міру зниження швидкості електровоза, знижуються е.р.с. двигунів, гальмовий струм  $i$ , отже, струм порушення. Для підтримки ефективного гальмування включається ключ VB. При цьому ланцюг KQ-RQ шунтується накоротко ланцюгом SU1-VB-SU2, завдяки чому струми порушення двигунів збільшуються.

При подальшому зниженні швидкості електровоза шпаруватість включень VB зростає і стає рівна  $q_{VB} \approx 1$ , тобто ключ VB включений постійно. Цим вичерпується процес електричного гальмування локомотива.

### ***Частотно-регульований тяговий електропривод***

В Україні ведуться роботи по створенню шахтних електроприводів змінного струму [ ] які мають ряд переваг над двигунами постійного струму:

- економія електроенергії (до 50%);
- економія гірської маси, що транспортується за рахунок зниження непродуктивних витрат (до 25%);

- зниження аварійності за рахунок застосування Частотно-регульований тяговий електропривод на базі аплавного пуску;
- підвищення надійності і зниження аварійності електрообладнання за рахунок усунення ударних пускових струмів;
- зниження рівня шуму, створюваного пристроєм;
- зручність автоматизації;
- зручність і простота впровадження.

Такі роботи ведуться у Криворізькому технічному університеті спільно з ВАТ "Електромаш" м. Харків та ДП НВС "Електрообладнання" м. Дніпропетровськ. Запропоновані схеми приводу електровозів наведені нижче.

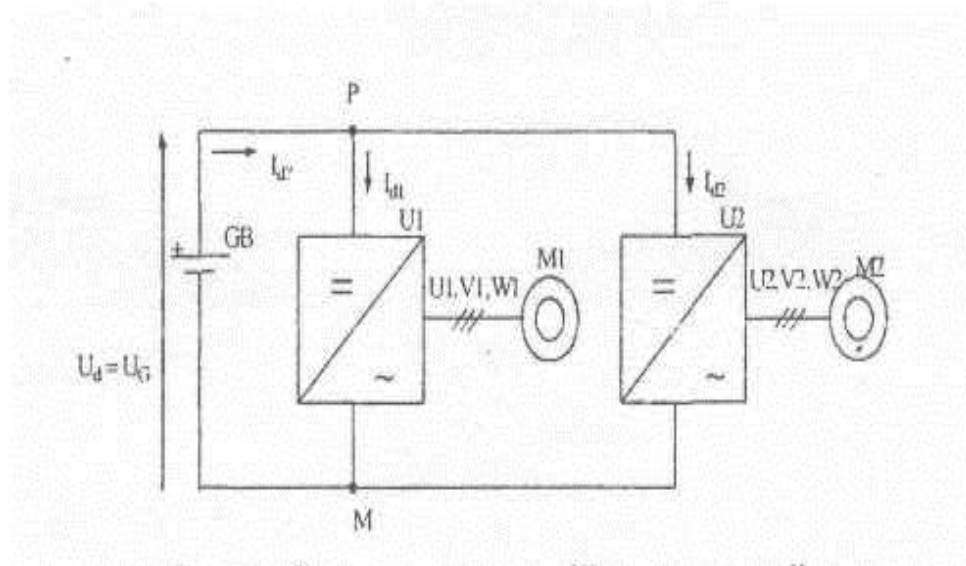


Рисунок 1.12 Спрощена традиційна „жорстка” структура ТЕП тягового електроприводу змінного струму.

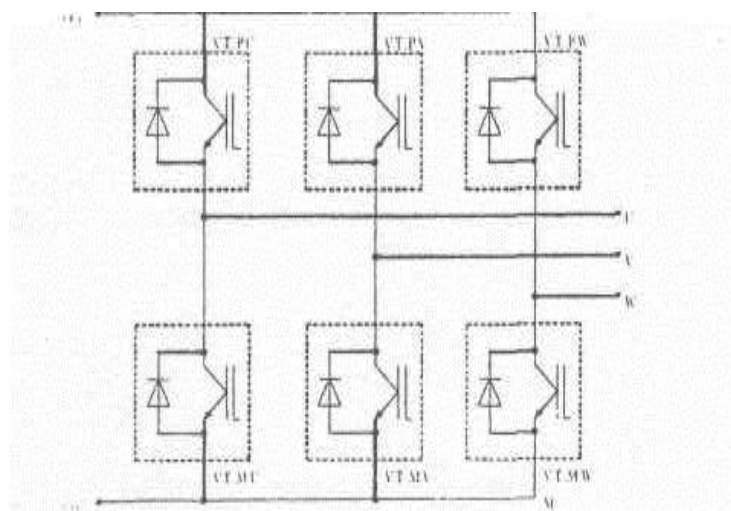


Рисунок 1.13 Спрощена схема IGB - транзисторного інвертора напруги.

В результаті проведених досліджень ОПР виявлена найбільш енергоекономічна «гнучка» схема ТЕП з переключенням фаз двигунів, приведена на рис.1.14.

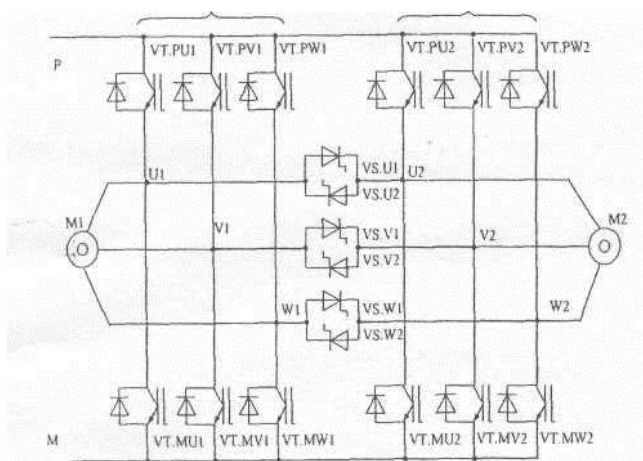


Рисунок 1.14 „Гнучка" структура ТЕП з переключенням фаз двигунів.

У пусковому режимі двигуни М1 і М2 з'єднуються послідовно через одно-операційні тиристри. По мірі розгону електровоза схема плавно переходить на рівнобіжне з'єднання двигунів у тривалому режимі. Істотно те, що «гнучка» схема забезпечує зниження амплітуди імпульсів струму, споживаних від акумуляторної батареї при пуску майже вдвічі, тобто на рівні тривалого режиму (у параметрах електровоза АМ8Д), внаслідок чого зменшується термін зносу акумуляторної батареї.

Останнє твердження дозволило запропонувати принцип комбінованого багаторівневого регулювання напруги в «гнучкому» ТЕР змінного струму рудникового акумуляторного електровозу - регулювання напруги на двигунах здійснюється в три етапи з використанням комбінації векторної ШІМ напруги з «повним» керуванням IGBT-інверторів:

1 етап: пуск і розгін електровоза починаються практично з нульового значення напруги на двигунах до рівня, пропорційного  $U_d/2$ , спочатку за допомогою векторної ШІМ, а потім шляхом збільшення скважності провідного стану протилежних груп IGBT і тиристорів зв'язку до збільшення при «повному» керуванні (двигуни з'єднані послідовно).

2 етап: пуск і розгін електровоза починаються практично з нульового значення напруги на двигунах до рівня, пропорційного  $U_d/2$ , спочатку за допомогою векторної ШІМ, а потім шляхом збільшення скважності провідного стану протилежних груп IGBT і тиристорів зв'язку до збільшення при «повному» керуванні (двигуни з'єднані послідовно).

3 етап: подальший ріст напруги від рівня  $U_d / 2$  до  $U_d$  також здійснюється спочатку за допомогою векторної ШІМ шляхом зменшення скважності тиристорів зв'язку до 0 і збільшення скважності IGBT до граничної при синусоїді, а потім з переходом на «повне» керування IGBT шляхом збільшення їхньої скважності до 1 (при цьому двигуни плавно переходять з послідовного з'єднання на рівнобіжне і ТЕР виходить на годинний режим роботи).

4 етап: напруга на кожнім двигуні постійна і дорівнює максимальному значенню. При «повному» керуванні, двигуни працюють паралельно, частота збільшується до граничної, реалізується режим плавного ослаблення поля тягових двигунів.

В таблиці 1.2 надано перелік станів перетворювача при векторній ШІМ, де:  $V_0$ ,  $W_0$  - нульовий стан тривалістю  $t_0$ ;  $V_j$  - стан послідовного з'єднання тривалістю  $t_j$ ;  $W_j$  - стан паралельного з'єднання тривалістю  $t_w$ ;  $j=1...6$ .

Таблиця 1.2

Діаграма станів перетворювача

Позначка стану перетворювача	Включені транзистори, тиристори, діоди					
	SU	SV	SW			
V0	SU	SV	SW			
V1	PU1	SV	SW	MU2		
V2	PU1	PV1	SW	MU2	MV2	
V3	SU	PV1	SW		MV2	
V4	SU	PV1	PW1		MV2	MW2
V5	SU	SV	PW1			MW2
V6	PU1	SV	PW1	MU2		MW2
W0	PU1	PV1	PW1	MU2	MV2	MW2
W1	PU1	MV1	MW1	MU2	PV2	PW2
W2	PU1	PV1	MW1	MU2	MV2	PW2
W3	MU1	PV1	MW1	PU2	MV2	PW2
W4	MU1	PV1	PW1	PU2	MV2	MW2
W5	MU1	MV1	PW1	PU2	PV2	MW2
W6	PU1	MV1	PW1	MU2	PV2	MW2

Алгоритми модуляції на трьох етапах наведені у табл. 1.3, де:  $T_s$  – період першої гармонії, який розбитий на  $i=6$  інтервалів переключення фаз кожний тривалістю  $t_i=T_s/i$ .

Таблиця 1.3 Алгоритми модуляції в рівнях регулювання напруги ГАД.

Інтервали перимикання фаз		Алгоритм модуляції			
По значення	Межі	I рівень		II рівень	
		$\left[0 \dots \frac{T_m}{2}\right]$	$\left[\frac{T_m}{2} \dots T_m\right]$	$\left[0 \dots \frac{T_m}{2}\right]$	$\left[\frac{T_m}{2} \dots T_m\right]$

$\tau_1$	$0 \dots \frac{T_s}{6}$	$w_0 \rightarrow v_2 \rightarrow v_1$ $\rightarrow v_0$	$v_0 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2$ $\rightarrow w_0$	$v_2 \rightarrow w_2 \rightarrow v_2$ $\rightarrow w_2$	$w_2 \rightarrow v_2 \rightarrow$ $w_2 \rightarrow v_2$
$\tau_2$	$\frac{T_s}{6} \dots \frac{T_s}{3}$	$w_0 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3$ $\rightarrow v_0$	$v_0 \rightarrow v_3 \rightarrow v_2$ $\rightarrow w_0$	$v_3 \rightarrow w_3 \rightarrow v_3$ $\rightarrow w_3$	$w_3 \rightarrow v_3 \rightarrow$ $w_3 \rightarrow v_3$
$\tau_3$	$\frac{T_s}{3} \dots \frac{T_s}{2}$	$w_0 \rightarrow v_4 \rightarrow v_3$ $\rightarrow v_0$	$v_0 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4$ $\rightarrow w_0$	$v_4 \rightarrow w_4 \rightarrow v_4$ $\rightarrow w_4$	$w_4 \rightarrow v_4 \rightarrow$ $w_4 \rightarrow v_4$
$\tau_4$	$\frac{T_s}{2} \dots \frac{2T_s}{3}$	$w_0 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5$ $\rightarrow v_0$	$v_0 \rightarrow v_5 \rightarrow v_4$ $\rightarrow w_0$	$v_5 \rightarrow w_5 \rightarrow v_5$ $\rightarrow w_5$	$w_5 \rightarrow v_5 \rightarrow$ $w_5 \rightarrow v_5$
$\tau_5$	$\frac{2T_s}{3} \dots \frac{5T_s}{6}$	$w_0 \rightarrow v_6 \rightarrow v_5$ $\rightarrow v_0$	$v_0 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6$ $\rightarrow w_0$	$v_6 \rightarrow w_6 \rightarrow v_6$ $\rightarrow w_6$	$w_6 \rightarrow v_6 \rightarrow$ $w_6 \rightarrow v_6$
$\tau_6$	$\frac{5T_s}{6} \dots T_s$	$w_0 \rightarrow v_6 \rightarrow v_1$ $\rightarrow v_0$	$v_0 \rightarrow v_1 \rightarrow v_6$ $\rightarrow w_0$	$v_1 \rightarrow w_1 \rightarrow v_1$ $\rightarrow w_1$	$w_1 \rightarrow v_1 \rightarrow$ $w_1 \rightarrow v_1$

#### 1.4 Напрямки вдосконалення та модернізація шахтних електровозів

На електровозах застосовуються різні системи регулювання швидкості обертання тягових двигунів: реостатні і безреостатні, ступінчасті і плавні безступінчасті. Результати порівняння систем управління наведені в табл.1. З аналізу таблиці 1.4 випливає, що впровадження тиристорно-транзисторних систем управління дозволить збільшити ефективність роботи тягових електродвигунів не менше, ніж на 30-50%.

Таблиця 1.4 – Системи керування швидкістю електровоза

Параметри	Система керування швидкістю двигуна			
	реостатна	ступінчаста	Тиристорно-транзисторна	
			Двигуни постійного струму зІРН	Двигуни змінного струму
Число	До 6-7	необмежено	необмежено	необмежено

ступенів регулювання швидкості				
Число безреостатних ступенів	2	5	необмежено	необмежено
Втрати енергії %	до 30	до 14	8- 10	8- 10
Коефіцієнт використання ваги зчеплення $K_v$	0,5-0,6	0,5-0,6	0,95	0,95
Вид електричного гальмування	реостатний	реостатний	реостатний, рекуперативний	реостатний, рекуперативний

Найбільш перспективними для електровозів з ТЕД постійного струму слід визнати широтно-імпульсні та частотно-імпульсні системи керування, які забезпечують плавний пуск і гальмування потягів. При цьому економія електроенергії може досягати 25-30%, підвищення коефіцієнта використання зчепної ваги - 40%. Підвищення енергоефективності та модернізація рудничних електровозів може проводитися заміною реостатних і ступінчастих систем керування на тиристорно-транзисторні, широтно-імпульсні і частотні. Ці системи зменшують втрати енергії на буксування коліс, тому що забезпечують плавний пуск і гальмування електровозів ТЕД постійного струму і безколекторними двигунами змінного струму - асинхронними і вентильним. Схеми частотно-імпульсного управління ТЕД постійного струму є більш простими і недорогими. Але при рівній вихідній потужності для нормальної роботи частотно-імпульсної схеми потрібні дорогі і складні електричні фільтри. З цих причин частотно-імпульсні схеми були витіснені більш дешевими широтно-імпульсними. На акумуляторних і контактно-акумуляторних електровозах сучасні системи плавного управління ТЕД Перевагою ІРН є можливість рекуперативного гальмування аж до

повної зупинки електровоза. При цьому повертається в накопичувач не тільки кінетична енергія рушійного поїзда, але і електромагнітна енергія з індуктивностей обмоток тягових двигунів і згладжу вальних реакторів. Для акумулювання енергії гальмування і зниження стрибків струму бажано розміщувати суперконденсатори КДЕС, які дозволяють запобігти перезаряджанню акумуляторів, яке призводить до інтенсивного виділення водню. У комбінованих накопичувачах енергоємність суперконденсаторів вибирається рівною не більше 2-4% енергоємності акумуляторної батареї електровоза. У таблиці 1.4 наведені типи електровозів, енергоємність і середнє розрядна напруга тягових свинцево-кислотних та лужних нікель-залізних акумуляторних батарей. З розгляду таблиці 1.4 можна зробити два висновки.

1. При однаковим кількості елементів в батареях енергоємність свинцево-кислотних акумуляторних батарей в 1,9-3,27 рази вище, ніж нікель-залізних.

2. При рівній номінальній напрузі на свинцево-кислотних і нікель-залізних батареях енергоємність свинцево-кислотної батареї на електровозі АРП14 буде вище, ніж нікель-залізної на 21%. Для електровоза АРП10-900 цей показник дорівнює 45%.

Таблиця 1.5 Характеристики тягових свинцево-кислотних та лужних нікель-залізних акумуляторних батарей

Тип акумуляторної батареї	Тип акумуляторного електровоза	Середня розрядна напруга В	Енергоємність акумуляторної батареї кВт.год-МДж
Свинцево-кислотна 50x7PzSL560	АРП7, АРВ7-900	100	63/226,8
Нікель-залізна 50 ТНЖШ-550	4АК-2у	60	33/118,8
Свинцево-кислотна 60 x7PzSL-805	АМ8-600	120	108,6/391,0

Нікель-залізна 60ТНЖШ-550	5АРВ	72	39,6/142,56
Свинцево- кислотна 72 x7PzSL(430-805)	АМ8Д-900	130	130,32/469,15
Свинцево- кислотна 112 ТНЖ-450	АРМ8Д-900	130	47,5/171,0
Свинцево- кислотна 73 x7PzSL-805	АРП10-900	145	116,7/420,2
Нікель-залізна 126 ТНЖШ-550	АРП10-900	145	80,0/288,0
Свинцево- кислотна 93x7PzSL-805	АРП14-900	185	145/536
Нікель-залізна 161 ТНЖК-650	АРП14-900	185	120,0/432,9

Набирає поширення використання накопичувачів і в тяговому електроприводі [ ]. При цьому більшість дослідників, у тому числі і закордонних, робить висновок, що найбільш доцільно застосування ємнісних накопичувачів і обов'язково на базі суперконденсаторів (або інакше: ультраконденсаторів, конденсаторів надвисокої енергоємності, конденсаторів подвійного електричного шару (КПЕШ) та інші).

Це обумовлено тим, що суперконденсаторні накопичувачі володіють високою питомою потужністю, порядку  $10^4 - 10^6$  кВт/кг, при накопичуваній питомій електроенергії 45 - 50 кДж/кг і терміну часу заряду до 30 с, високий (88- 90%) к.к.д., характеризуються малим внутрішнім опором, що дозволяє досягати питомої потужності імпульсного розряду до 100 Вт/ см. Модулі КПЕШ витримують напругу в сотні вольт і величину струму в декілька кілоампер.

Суперконденсатори не мають негативної екологічної дії і вибухобезпечні. У таблиці 1.6 наведені технічні характеристики суперконденсаторного модуля МЛСК-130-57, який може бути використаний в шахтному електровозі.

Таблиця 1.6 Технічні характеристики модуля МЛСК-130-57

<b>№ пп</b>	<b>Параметр</b>	<b>Величина</b>
1	Робоча напруга	130 В
2	Ємність	57 Ф
3	Накопичена енергія	0,5 МДж /0,150 кВтч
4	Номінальна потужність	84 кВт
5	Максимальна потужність	560 кВт
6	Маса	50 кг
7	Габаритні розміри	1200x450x310мм
8	Об'єм	0,167 м <sup>3</sup>
9	Робоча температура	-50°С...+65°С
10	Ступінь захисту	IP65
11	Цикли	100 000
12	Життєвий цикл	10 років
13	Тип електроліту	органічний
14	Виробник	ООО «ТЭЭМП»

На рис. 1.15 представлена принципова тиристорна електрична схема комбінованої електричної системи управління (КЕСУ) в режимі рекуперативного гальмування електроприводу постійного струму. В процесі гальмування енергія, що генерується в обмотках збудження ОВ1 і ОВ2 і якорів М1 і М2 електродвигунів постійного струму послідовного збудження, накопичується в акумуляторній батареї GB і в конденсаторі з подвійним електричним шаром С.

Заряд акумуляторної батареї і суперконденсатора С проводиться в такий спосіб. При відкриванні тиристора VS2 обмотки якорів M1 і M2 і збудження OB1 і OB2 виявляються замкнутими накоротко. При включенні тиристора VS1 тиристор VS2 закривається і його струм зменшується до нуля. За рахунок індуктивної енергії, накопиченої в обмотках якорів M1 і M2 і збудження OB1 і OB2 двигунів, виникає ЕРС самоіндукції, під дією якої діод VDo відкривається. Через діод VDo і струмообмежувальний опір R тече струм - сумарний струм рекуперативного гальмування електродвигунів M1 і M2.

$$i_p = i_{d1} + i_{d2} = i_{p1} + i_{p2}$$

В схему включені два накопичувача гальмівний електричної енергії: акумуляторна батарея GB і суперконденсатор С. Електричний струм рекуперації при гальмуванні заряджає ак-кумуляторну батарею GB. При відкритому тиристорі VS3 електрична енергія накопичується і в суперконденсаторів С.

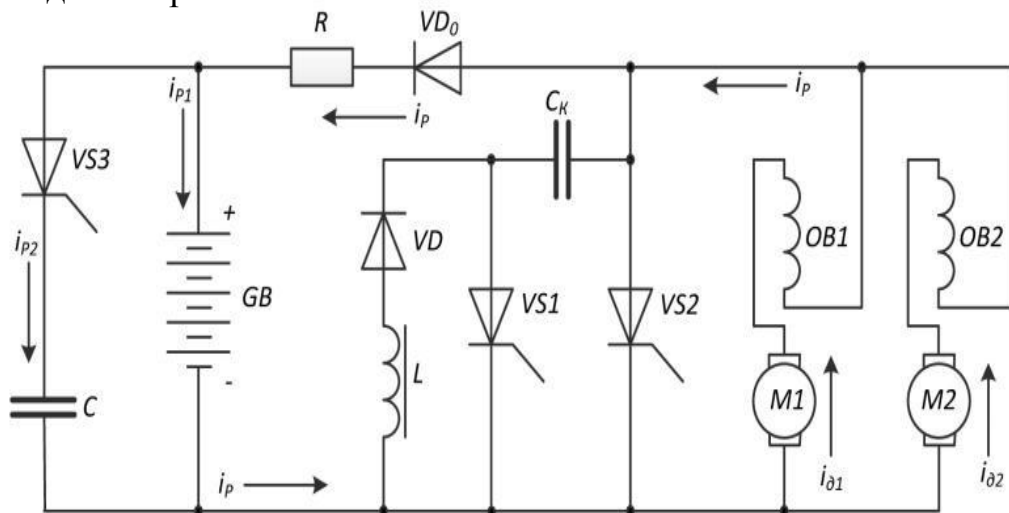


Рисунок 1.15 Принципова тиристорна електрична схема КЕСУ в режимі рекуперативного гальмування: M1, M2 - обмотки якорів тягових електродвигунів постійного струму; OB1, OB2 - обмотки послідовного збудження; GB - акумуляторна батарея; R - струмообмежувальний опір; Cк - комутуючий конденсатор; VDo, VD1 - діоди; VS1, VS2, VS3 - тиристори; C - суперконденсатор, L - індуктивний дросель; ip - струм рекуперації; ip1 -

електричний струм заряду акумуляторної батареї;  $i_{p2}$  - електричний струм заряду суперконденсатора

Якщо акумуляторна батарея GB зібрана з наливних акумуляторних елементів, то при заряді під кришкою батарейного ящика може накопичуватися водень. Для попередження вибуху водню за сигналом апаратури газового контролю тиристор VS3 відкривається, в суперконденсаторі стрибкоподібно наростає електричний струм  $i_{p2}$ . У наливній акумуляторної батареї в цей же момент часу зарядний струм  $i_{p1}$  падає до нуля і небезпека виділення водню усувається. З суперконденсаторів в зарядно-розрядних режимах водень не виділяється і безпечно електричне рекуперативне гальмування і заряд суперконденсаторів може здійснюватися аж до повної зупинки електродвигунів зі зменшенням струму в двигунах до 0.

Спростити принципові електричні схеми та підвищити надійність КЕСУ можливо при використанні силових біполярних транзисторів з ізольованим затвором IGBT. Спрощені схеми КЕСУ постійного струму з двигунами послідовного збудження наведені на рис. 1.16 та 1.17. На рис. 1.16 зображена принципова широтно-імпульсна електрична схема КЕСУ в руховому режимі. Живлення електроприводу може здійснюватися від суперконденсатора C1 при включенні контактора K1 або від акумуляторної батареї GB при включеному контакторі K2. При вимиканні транзистора VT1 діод VD1 запірається і напруга джерела живлення надходить на електричні двигуни M1 і M2. Блок ШІМ керує транзистором VT1, плавно змінюючи тривалість імпульсів. Середнє значення напруги на електроприводі плавно регулюється від 0 до напруги джерела живлення  $U_{ип}$ .

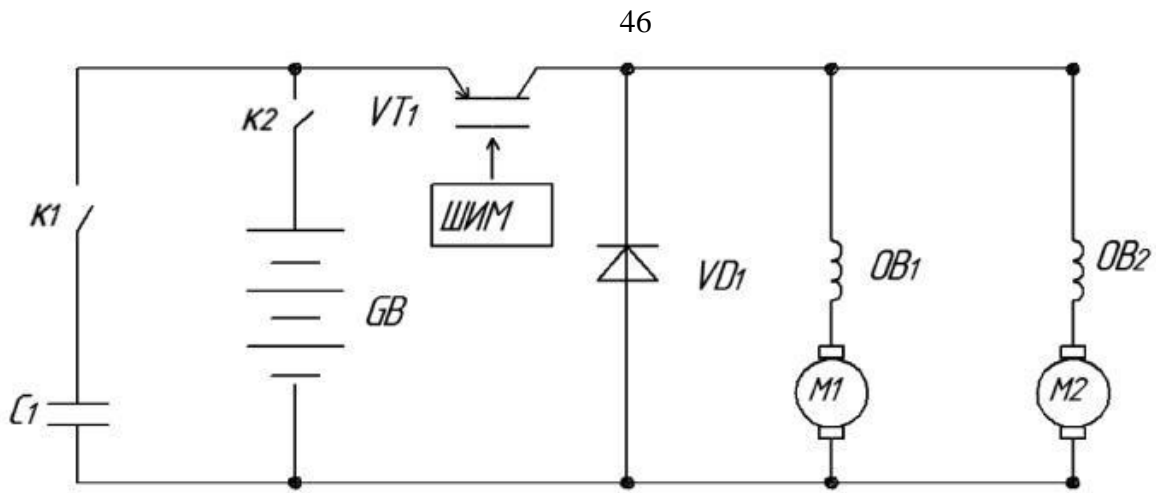


Рисунок 1.16. Принципова транзисторная електрична схема КЕСУ в рушійному режимі

На рис. 1.17 представлена принципова схема КЕСУ в режимі рекуперативного гальмування електроприводу, виконаного на транзисторах IGBT з ізольованим затвором VT1 і VT2. Ця схема значно простіше схеми рекуперативного гальмування на тиристорах VS, наведеної на рис. 1.15. Управління процесом електричного гальмування і прийомом гальмівної енергії в схемі на рис. 3 здійснюється блоком СУРТ

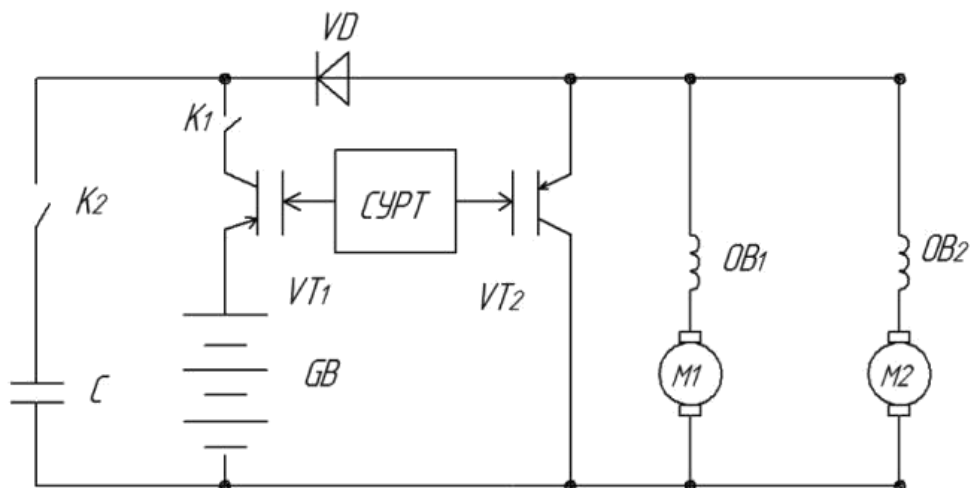


Рисунок 1.17 Принципова транзисторная електрична схема КЕСУ в режимі рекуперативного гальмування

При включенні контактора K1 на рис. 1.17 у відкритому транзисторі VT1 і замкненому VT2 гальмівний електричний струм з обмоток збудження OB1, OB2 і якорів двигунів M1, M2 протікає через діод VD і заряджає акумуляторну батарею GB. При включенні контактора K2 заряджатися буде суперконденсатор C, транзистор VT2 повинен бути замкнений, а діод VD відкритий. Після спадання зарядних струмів в акумуляторній батареї і суперконденсаторі до нуля керуючий блок СУРТі подає команду на відкривання транзистора VT2. Контактори K1 і K2 залишаються ввімкненими, а транзистор VT2 відкривається і з'єднує безпосередньо обмотки електричних двигунів M1 і M2. Коли струм короткого замикання в двигунах M1 і M2 досягне рівня уставки, блок СУРТ подає команду на ввімкнення VT2 і відключення VT1. Далі процес рекуперативного гальмування триває до того моменту, коли електрична і кінетична енергії приводу будуть дорівнювати нулю

Застосування гібридних накопичувачів дозволяє накопичувати гальмівну енергію в суперконденсаторах для подальшого використання, знизити зношення гальмівних колодок, а також приблизно вдвічі зменшити ємність і підвищити термін служби акумуляторних батарей комбінованих електровозів.

### **Висновки до першого розділу**

1 Для подальшого вдосконалення шахтного електровозного транспорту необхідно розробляти нові електровози з двигунами змінного струму (тягові асинхронні двигуни та безколекторні двигуни постійного струму або вентильні двигуни).

2. Для підвищення енергоефективності енерго та ресурсозбереження гірського локомотивного транспорту необхідна заміна нікель-залізних акумуляторних батарей кислотно-свинцевими, які є більш енергоємними.

3. На електровозах, які проходять модернізацію систем управління змінювати застарілі механічні контактори на сучасні тиристорно-транзисторні системи керування.

Необхідне широке впровадження комбінованих накопичувачів електричної енергії на базі акумуляторних батарей та суперконденсаторів..

## РОЗДІЛ 2 Тягові розрахунки

### 2.1 Навантажувальні діаграми електровозної відкатки

Тягові розрахунки мають на меті визначення оптимального складу поїзда, виходячи з умов застосування електровозного транспорту в будь-якої вугільної або рудної шахті. Розрахунки дозволяють вирішувати практичні завдання, пов'язані з рухом поїзда, роботою електровоза і раціональним використанням його потужності. Зазначені розрахунки і рішення широко застосовуються як при проектуванні, так і при експлуатації шахтної електровозної відкатки.

Головний зміст тягових розрахунків становить побудова кривих руху поїзда, що представляють собою графічне зображення залежностей між швидкістю руху поїзда, пройденим шляхом і часом, тобто криві  $V = f(t)$ ,

$V = f(l)$  і  $I = f(t)$ . Криві ці будуються шляхом вирішення основного рівняння руху поїзда. Як зазначалося раніше, на практиці застосовують графоаналітичні і графічні методи побудови кривих руху. При розрахунках рудникової електровозної тяги зазначені методи не знайшли застосування, так як нормальні умови підземної електровозної відкатки (наявність постійного по величині ухилу на всьому протязі шляху транспортування, велика довжина і незначна швидкість руху і, як наслідок цього, значна величина періоду усталеного руху) дозволяють значно спростити розрахунок. Вся крива швидкості руху може бути розбита на п'ять основних періодів руху.

Перший період - пуск з постійним прискоренням  $t_1$ - характеризується крутим підйомом швидкості в порівняно невеликий проміжок часу. У цей період поїзд повинен зрушити з місця і завдяки великому прискоренню швидко набрати швидкість.

Другий період - період виходу до усталеної швидкості  $t_2$  Швидкість зростає повільніше, прагнучи до межі яка визначається силою тяги

Третій період - період усталеного руху  $t_3$  з швидкістю близькій до номінальної

Четвертий період – період вільного вибігу  $t_4$  Двигуни відмикаються від живлення і сили тяги не розвивають . Швидкість зменшується а прискорення є від’ємним

П’ятий період –період гальмування  $t_5$  Прикладається гальмівний момент і швидкість знижується до 0

Діаграми струмів та зусиль наведені на рисунках 2.1 та 2.2

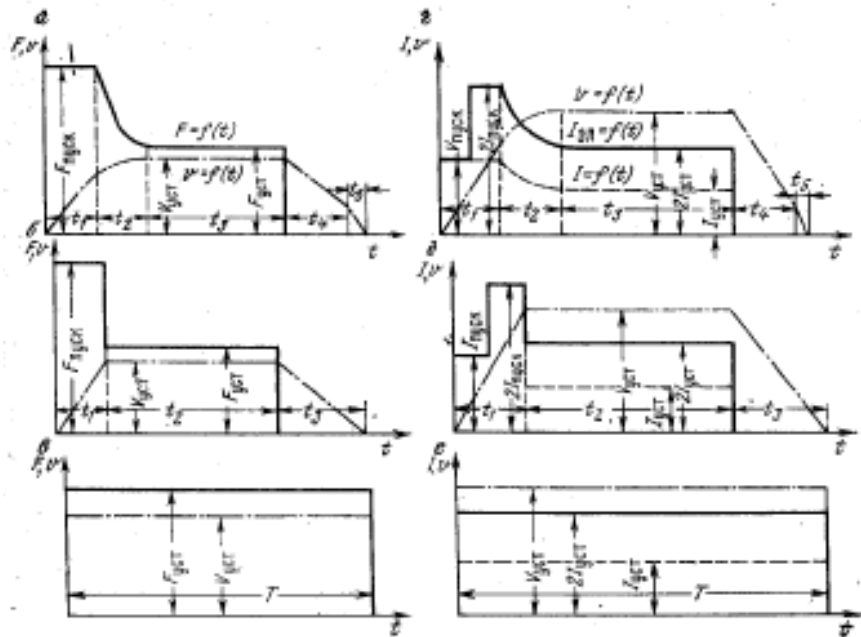


Рисунок 2.1 Тягова діаграма електровоза, де а,б,в –діаграми сили тяги; г,д,е,- діаграми струму

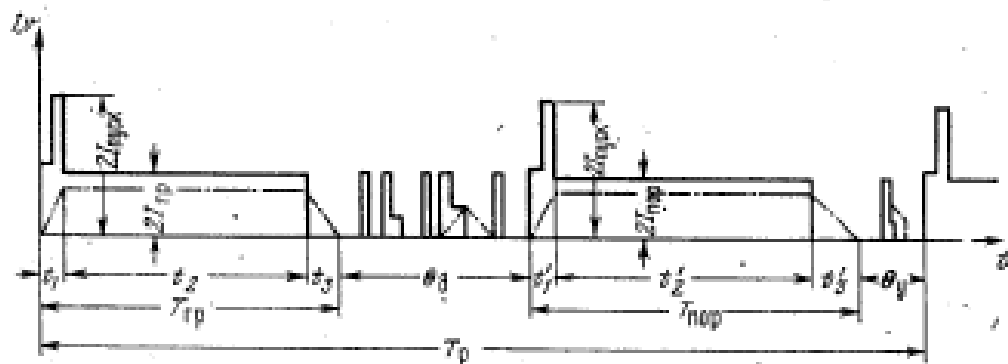


Рисунок 2.2 Діаграми споживання струму електровозом з двома двигунами.

Як видно з рис.2.2 маневрування  $\Theta$  характеризується стрибками струму, коли потяг маневрує у приствольному дворі . Це самий несприятливий режим для акумуляторної батареї

## 2.2 Розрахунок електровозної відкатки

Проведемо розрахунок відкатки одного крила шахти, користуючись профілем шляху рис. 3.1, допустимою вагою составу, а також розрахуємо кількість електровозів, необхідних для відкатки вугілля і породи, вважаючи що основна відкатка йде за рахунок стрічкових конвейерів.

Максимально допустима вага навантаженого потягу (вагова норма) визначається силою тяги електровозу по зчепленню і перевіряється по нагріву тягових електродвигунів і гальмуванню на заданій ділянці шляху:

За умовами зчеплення при пуску навантаженого складу на переважачому ухилі:

$$P + Q_{zp} = \frac{1000 \cdot \psi \cdot P_c}{W_{zp} + W_{il} + 110 \cdot j_0};$$

За умовами нагріву тягових двигунів:

$$P + Q_{zp} = \frac{F_{dl}}{\alpha \sqrt{\tau} (W_{zp} - W_{il})};$$

За умовами гальмування навантаженого потягу на переважному ухилі:

$$P + Q_{zp} = \frac{1000 \cdot \psi \cdot P_m}{110 \cdot j_T - W_{zp} + W_{il}},$$

де  $P_C$  и  $P_T$  – відповідно зчїпна і гальмівна вага електровоза

$Q_{ГР}$  – вагова норма потягу, т

$F_{ДЛ}$  – сила тяги тривалого режиму, Нм

$\psi$  – коефіцієнт зчеплення колїс електровоза з рейками (при запуску з підсїпкою піску він дорівнює 0,24, при русї с підсїпкою піску 0,17)

$W'_{ГР}$  і  $W_{ГР}$  – відповідно питомий пусковий і ходовий опір руху навантаженої вагонетки кг/м

Для вагонеток типу ВГ 3,3 – порожні – 9 кг/м, завантажені 7 кг/м

$w_{i1}$  – опір переважного ухилу, кг/м (дорівнює  $\frac{1}{1000}$  від ухилу,

наприклад на ухилі 0,003 дорівнює 3)

$w_{i2}$  – опір від ухилу рівного опору, кг/м (приймається 3 кг/м).

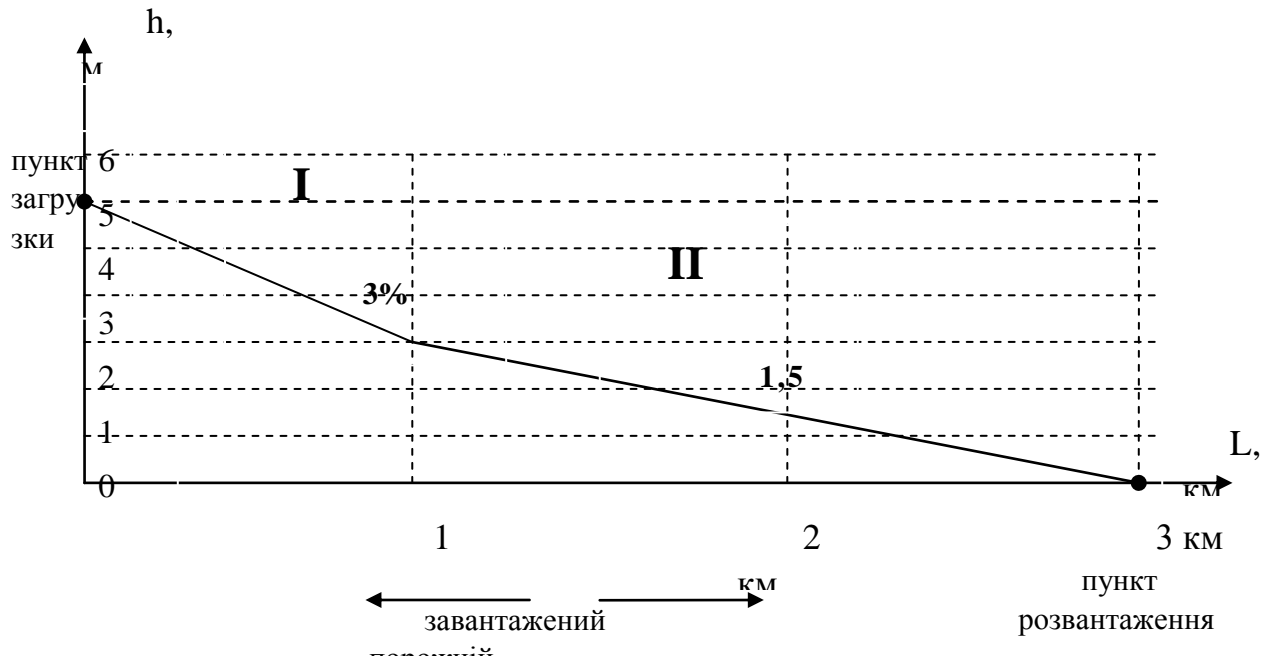


Рисунок 2.3- Профіль шляху

$\alpha$  – коефіцієнт що враховує роботу електровоза під час маневрів (при запуску відкатки до 1км дорівнює 1,4 от 1-2км 1,25 більше 2км – 1,15)

$j_0$  і  $j_T$  – відповідно пускове прискорення і пускове уповільнення  $\text{м/с}^2$   
приймається  $j_0=0,03-0,05\text{м/с}^2$

$$j_T = \frac{V_T^2}{2L_T},$$

$V_T$  – швидкість руху складу на початку гальмування, рівна тривалій швидкості електровоза  $V_{\text{тр}}$ . для електровоза 7КРН,  $V_T=V_{\text{тр}}=18\text{км/ч}$

$L_T$  – довжина гальмівного шляху і (приймається відповідно до ПБ для вантажних складів 40м, для пасажирських складів – 20м)

$$\gamma_T = \frac{5^2}{2 \cdot 40} = \frac{25}{80} = 0,31 \text{ м/сек}^2,$$

$\tau$  - відносна тривалість руху

$$\tau_{\text{дв}} = \frac{T_{\text{дв}}}{T_p},$$

$T_p$  – час рейсу, хв

$$T_p = T_{\text{дв}} + \Theta + t_p; \text{ хв}$$

$\Theta$  – час маневрів електровоза, хв.

$t_p$  – час розвантаження потягів з вагонетками з відкидними днищами

$T_{\text{дв}}$  – тривалість руху в завантаженому і порожньому напрямі

$$T_{\text{дв}} = \frac{2L}{60V_{\text{с.х}}}; \text{ хв}$$

$V_{\text{с.х}}$  – середньо ходова швидкість руху, м/с ( $V_{\text{с.х}}=1,15V_{\text{ч}}$ );

$V_{\text{г}}$  – годинна швидкість електровоза, м/с

для електровоза 7КРМ  $V_{\text{ч}}=12,2\text{км/г}$  або  $V_{\text{ч}}=3,39\text{м/с}$

$L$  – відстань транспортування, м

для нашого випадку приймаємо  $L=3 \cdot 10^3\text{м}$

Тоді

$$T_{\text{дв}} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^3}{60 \cdot 3,39} = 29,5 \text{ хв};$$

Приймаємо час для маневрування  $\Theta=5\text{хв}$

Так як вагонетки ВГ 3,3 з глухим кузовом  $t_p=0$

Тоді  $T_p = T_{\text{дв}} + \Theta = 29,5 + 5 = 34,5\text{хв}$

$$\tau_{\text{дв}} = \frac{29,5}{34,5} \approx 0,86;$$

Пускові опори руху

$$W'_{\text{зр}} = 1,5 \cdot W_{\text{зр}}$$

Для вагонеток ВГ 3,3:

$$W'_{zp} = 1,5 \cdot 9 = 13,5 \text{ (для порожніх)}$$

$$W'_{zp} = 1,5 \cdot 7 = 10,5 \text{ (для завантажених)}$$

Розрахуємо максимальну вагу завантаженого і порожнього потягу на керівному ухилі  $w_{i1} = 5\%$

$$P + Q_{cp} = \frac{1000 \cdot 0,24 \cdot 14}{10,5 + 5 + 110 \cdot 0,04} = \frac{3360}{19,9} = 168,8 ;$$

Приймаємо вагу зщеплення електровоза 7КРМ1 – 14 т мінімальне прискорення  $0,04 \text{ м/с}^2$

За умовами нагріву тягових двигунів

$$P + Q_{cp} = \frac{700}{1,15 \sqrt{0,86} \cdot (7 - 3)} = \frac{700}{4,27} = 163,93 \text{ т};$$

Приймаємо тривалу силу тяги  $F_{дл} = 700$  даН,  $\alpha = 1,15$ ,  $W_{ГР} = 7$ ,  $W_{i2} = 3$  кг/м

За мовами гальмування завантаженого потягу:

$$P + Q_{cp} = \frac{1000 \cdot \psi \cdot P_m}{110 \cdot j_T - W_{zp} + W_{i1}} = \frac{1000 \cdot 0,24 \cdot 14}{110 \cdot 0,31 - 9 + 5} = \frac{3360}{30,1} = 111,62 \text{ т};$$

Приймаємо гальмівну вагу електровоза 14 т, гальмування з піском, керівний ухил 5%.

Виходячи із умов, приймаємо вагу завантаженого потягу 112 т

Відповідно число вагонеток приймаємо:

Для вугілля

$$Z = \frac{P + Q - P_c}{m_0 + m_{Г}} = \frac{112 - 14}{4,2} \approx 23,24; \text{ для вугілля 24 вагонетки}$$

$$\text{для вугілля } m_0 + m_{Г} = 1,2 + 3 = 4,2$$

$$\text{для копалин } m_0 + m_{Г} = 1,2 + 3,7 \approx 5$$

Для копалин

$$Z = \frac{112 - 14}{5} = 19,6; \text{ для копалин 20 вагонеток}$$

Визначаємо допустиму швидкість руху при гальмуванні

$$V_{дон} = \sqrt{\gamma_T \cdot t_{II} + 2 \cdot \gamma_T \cdot l_T} - \gamma_T \cdot t_{II} = \sqrt{0,31 \cdot 3,4 + 2 \cdot 0,31 \cdot 40} - 0,31 \cdot 3,4 \approx 4 \text{ м/с}$$

де  $t_{II}$  – час підготовки гальмі до дії;

$$t_{II} = 1,4 + t_X = 1,4 + 2 + 3,4$$

$l_r$  – довжина гальмівного шляху, 40 м

$t_x$  – час реакції машиніста приймаємо 2 сек.

Сила тяги поїзду при встановленому русі для завантаженого потягу вниз

$$F_{к.р.} = (P + Q)(W_{zp} - W_{i1}) = 112(7 - 5) = 224 \text{ дан}$$

З порожнім вгору

$$F_{к.х.} = (P + Q)(W_{zp} + W_{i1}) = 112(9 + 5) = 1568 \text{ дан}$$

На один двигун приходиться тяга

$$F_p = 112 \text{ дан и } F_x = 784 \text{ дан}$$

Приведений момент інерції буде дорівнювати

$$J_{np} = \sum Q_{zp}^{mp} \cdot \frac{V_{\max}^2}{\omega_{\partial e}^2}, \quad \text{кгм}^2$$

де  $Q_{zp}^{mp}$  – маса завантаженого потягу (маса рухомого складу)

вона визначається з рівняння початку руху

$$Q_{zp}^{mp} = \frac{1000 \cdot Q_2 \cdot \psi}{W_2 - i + 110 \cdot a_{\min}} - Q_2,$$

де  $\psi$  – розрахунковий коефіцієнт зчеплення коліс з рельсами при рушанні.

Приймаємо у відповідності з інструкцією по експлуатації для рельс покритих піском та вологих  $\psi = 0,12 \div 0,13$ ;

$Q_2$  – маса електровоза; Для 7КРМ1 –  $Q_2 = 7,2$  т;

$i$  – ухил рельсового шляху. Для нашої ділянки  $i = 0,01\%$ ;

$W_r$  – основний питомий опір руху завантажених та порожніх вагонеток

$W_r$  для вагонеток з об'ємом кузова  $1,6 \text{ м}^3$  включно = 10

$a_{\min}$  – мінімальне прискорення потягу при рушанні

$$a_{\min} = 0,03 \text{ м/сек}^2$$

Таким чином:

$$Q_{zp}^{mp} = \frac{1000 \cdot 7,2 \cdot 0,12}{10 - 0,01 + 110 \cdot 0,03} - 10 = 55; \quad \text{кгм}^2$$

$$J_{np} = 55 \cdot 10^3 \cdot \frac{3,33^2}{110^2} = 50,4 \text{ кгм}^2;$$

### РОЗДІЛ 3 Розрахунок параметрів і вибір силових кіл шахтного електровоза з тяговим двигуном постійного струму

На цей час регулювання швидкості електропривода постійного струму здійснюється за допомогою частоті зміни контролером (контакторами) величини опору включеного послідовно з двигуном регулювального реостату в сполученні з послідовно – паралельним переключенням двигунів (для електровозів). Загальний вид контролера наведено на рис.3.1 а на рис. 3.2 - розгорнута схема струмопроходження на всіх позиціях контролера

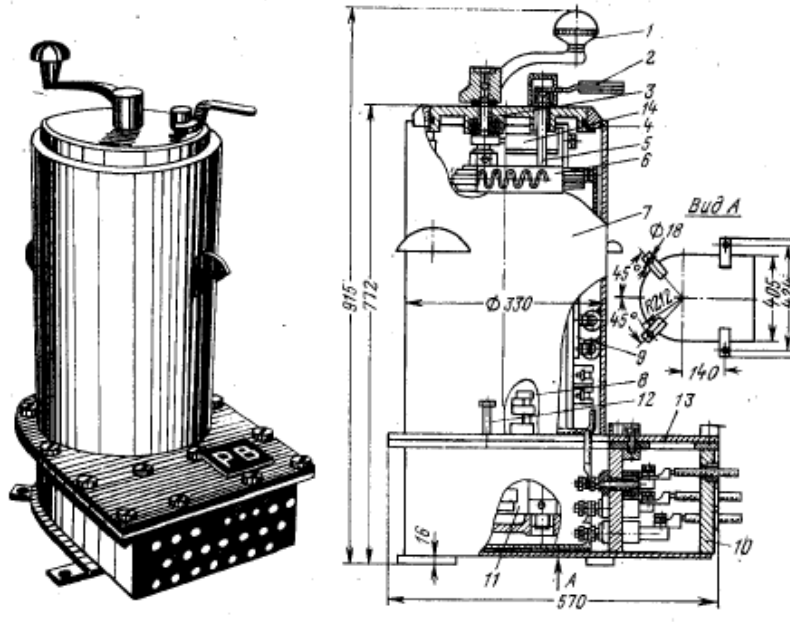


Рисунок 3.1 Загальний вид контролера

Зазначеному способу регулювання присутні істотні недоліки, основними з яких є:

- значні втрати електроенергії в регулювальних резисторах, що складають до 20-30% споживаної електроенергії. Це відноситься насамперед до того, що значну частину робочого часу електровоза складає пересування на знижених швидкостях із введенням в коло якоря ступіні командо-контролера апарату (ККА), що зумовлюється необхідністю маневрування, нерівністю виробок і т.д.

- різкі стрибкоподібні зміни сили тяги як результату частого переключення секцій регулювального (ККА) і переходу з послідовного з'єднання двигунів буксирування однієї колісної пари вкрай несприятливо відбивається на силі тяги.

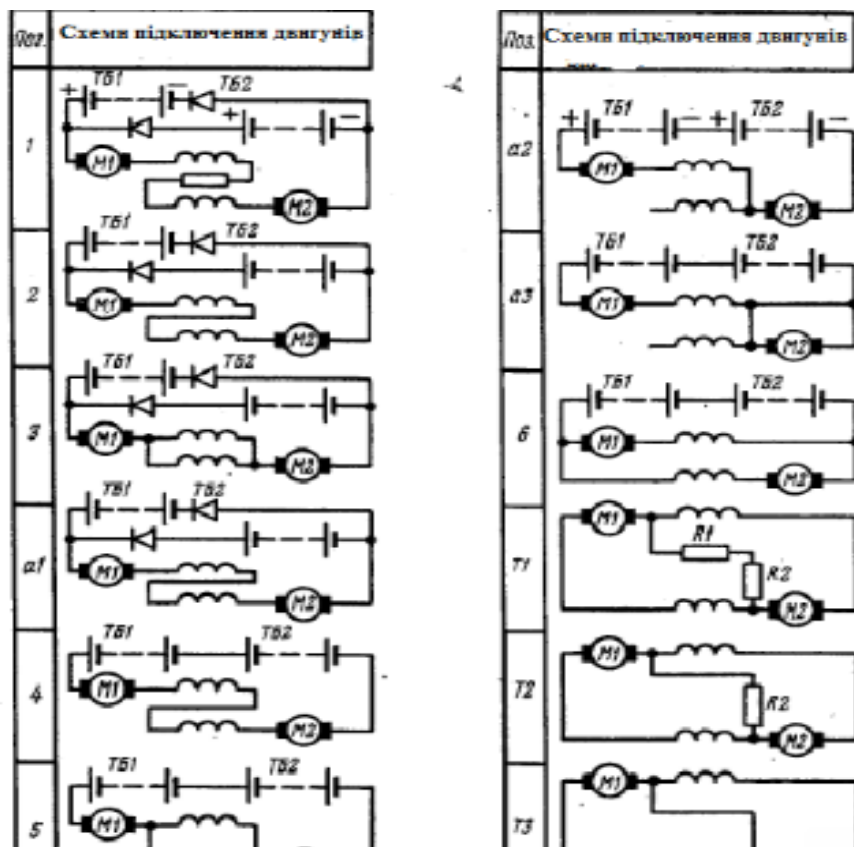


Рисунок 3.2 Розгорнута схема струмопроходження на всіх позиціях контролера

Завдяки освоєнню в промислових масштабах виробництва силових напівпровідникових приладів у даний час можливе застосування безреостатного пуску тягових двигунів постійного струму, шляхом використання імпульсних перетворювачів.

Застосування імпульсного керування докорінно змінює умови роботи тягового електроустаткування, значно поліпшує тягово-експлуатаційні якості електровозів.

Основні переваги системи постійного струму з тиристорно-імпульсним керуванням у порівнянні з реостатно-контактним наступні:

- підвищення надійності електроустаткування за рахунок усунення контактної комутаційної і пускорегулюючої апаратури;

- безреостатний плавний пуск, що дозволяє поряд з усуненням втрат у пускових реостатах підвищити середнє пускове зусилля, обмежене тільки граничним значенням коефіцієнта зчеплення;

- плавне, без утрат регулювання швидкості у всьому діапазоні її зміни;

- усунення через'єднань тягових двигунів і збереження постійного рівнобіжного включення, що поліпшує використання зчїпної маси електровоза;

- поліпшення режимів роботи системи електропостачання, зокрема акумуляторної батареї, через усунення пікових навантажень, обумовлених через'єднанням тягових двигунів;

- можливість підвищення на 10—20% середньої напруги, підведеної до двигунів, і відповідне збільшення їхньої потужності і частоти обертання;

- захист тягових двигунів від впливу коливання напруги і перенапруги в тяговій мережі;

- простота автоматизації операцій по керуванню електровозом.

Однак імпульсним системам притаманний ряд недоліків, найбільш істотними з яких є:

- наявність пульсації струму, що погіршує режими роботи тягових двигунів через додаткове нагрівання і погіршення умов комутації;

- виникнення радіоперешкод у контактних мережах і в навколишньому середовищі.

Електропривод підземних гірничих машин і електровозної відкатки висуває особливі вимоги до пристрою тиристорно- імпульсного регулювання:



До складу перетворювача входять вузол комутації з широтно-імпульсним способом регулювання напруги на двигуні, виконаний за схемою з перезаряд жальними діодами і резонансною комутацією силового тиристора – Т1, Д1, Т2, Д2, Ск, Лк; тиристорний реверсор Т3, Т5, Т4, Т6 ; зворотний діод Д6, лінійний контактор К . Присутність в схемі вузла комутації пере зарядного діода Д1, , який шунтує силовий тиристор Т7, дозволяє поряд з підвищенням жорсткості зовнішніх характеристик перетворювача виключити вплив на двигун перенапруг, що виникають при комутації силового тиристора.

Для здійснення гальмування потягу двигун відключається від батареї і включається на гальмівний резистор RT (динамічне гальмування). Імпульс на збудження двигуна при цьому виконується за рахунок енергії заряду конденсатора С та діодів Д7 і Д8. При необхідності форсування гальмування резистор на час, обумовлений шпаруватістю, шунтується за допомогою тиристора Т7 і діодів Д5, Д8. У схемі передбачено включення згладжуючого фільтру  $C_{\phi 1}$  ,  $C_{\phi 2}$  та розділяючих діодів Д4 і Д3. Зазначені елементи схеми призначені для виключення впливу тиристорного регулятора напруги на джерело живлення, засоби телемеханіки і зв'язку.

Вибір режимів роботи приводу і його реверсування виконуються під час безструмової паузи тиристорним реверсором ; застосування в зазначеному вузлі тиристорів і відмова від контактних елементів (перемикачів і контакторів) обгрунтовано вимогами роботи електровозів

Для виключення перевантаження двигунів, в схемі передбачена негативний з відсічкою зворотний зв'язок по струму, що дозволяє вирішити питання автоматизації пуску і гальмування потягу

Пропонується:

- замінити тиристорні вузли для широтно імпульсного регулювання напруги на транзисторні на IGBT транзисторах;

- паралельно акумуляторній батареї включити суперконденсатор для накопичення гальмівної енергії для маневрових робіт у ристволюньому дворі

Вихідні дані при розрахунку:

Напруга живлення  $U_n$ , найбільше  $U_{\max}$  і  $U_{\min}$  значення його, обумовлені коливаннями в ланці постійного струму, параметри число і схему з'єднання тягових двигунів, гранично припустимі пульсації  $\Delta I_{\text{доп}}$  споживаного з мережі і  $\Delta I_d$  струму двигунів, найменші параметри час вимикання  $t_{\text{выкл}}$  силових ключів.

Найбільший струм навантажувального контуру фази імпульсного перетворювача:

$$I_{\text{нк max}} = \frac{I_{d \text{ max}} m_g}{N}$$

де:  $I_{d \text{ max}}$  – найбільший пусковий струм тягового двигуна

$m_g$  – число паралельно включених груп двигунів

$N$  – число фаз перетворювача

Складемо схему заміщення електричного кола «широотно-імпульсний регулятор-двигун». Дані для розрахунків наведені в таблицях 3.1 та 3.2

Таблиця 3.2 Технічні характеристики акумуляторного електровоза

Акумуляторний електровоз АМ8Д	Параметри
Колія, мм	900
Номінальна (зчеплена) маса, т	8
Потужність: годинна, кВт; питома, кВт/год	2*12 3.0
Годинна сила тяги, даН	1150
Швидкість, км/год	7.2
Тривала сила тяги, даН	325

Тривала швидкість, км/год	10,2
Число тягових двигунів, шт	2
Тип двигуна	ДК800БМ
Напруга двигуна, В	250
Струм, А: годинний	113
Частота обертання (ном.) об/хв.	615

Постійна двигуна (для годинного режиму)

$$C_d = \frac{P \cdot 10^3}{\omega \cdot I_{я}} = \frac{15 \cdot 10^3}{73 \cdot 58} = 3,53;$$

Активний опір якірного кола приведений до робочої температури 100°C

Номінальна швидкість:

$$\omega_n = 0.105 \cdot n_n = 0.105 \cdot 625 = 73 \text{ 1/с.}$$

Максимальна швидкість:

$$\omega_o = 0.105 \cdot n_o = 0.105 \cdot 750 = 78 \text{ 1/с.}$$

Момент, який розвиває двигун

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{15 \cdot 10^3}{73} = 205.47 \text{ Нм}$$

Таблиця 3.3 Технічні характеристики двигуна. ДДКР12

Потужність кВт;	15
Номінальний ток А;	58
Номінальна напруга В;	120
Опір обмотки якоря r, Ом;	0.34
Опір додаткових полюсів r2, Ом;	0.2
Опір обмотки збудження, Ом;	0.43
n <sub>n</sub> об/хв;	625
n <sub>o</sub> об/хв;	1380
момент інерції кгм <sup>2</sup> ;	0.2
КПД;	0.85

Вихідні дані при розрахунку:

Напруга живлення  $U_n$ , найбільше  $U_{\max}$  і  $U_{\min}$  значення його, обумовлені коливаннями в контактній мережі, параметри число і схема з'єднання тягових двигунів, гранично припустимі пульсації  $\Delta I_{\text{доп}}$  споживаного з мережі і  $\Delta I_d$  струму двигунів, найменші параметри час вимикання  $t_{\text{выкл}}$  силових ключів.

Найбільший струм навантажувального контуру фази імпульсного перетворювача:

$$I_{\text{нк max}} = \frac{I_{d \text{ max}} m_g}{N}$$

де:  $I_{d \text{ max}}$  – найбільший пусковий струм тягового двигуна

$m_g$  – число паралельно включених груп двигунів

$N$  – число фаз перетворювача

Перетворювач для тягового двигуна виконується по схемі керованого мостового перетворювача, який виконаний на IGBT – модулях.

Схема заміщення електричного кола “імпульсний перетворювач – тяговий двигун” приведена на рисунку 3.4

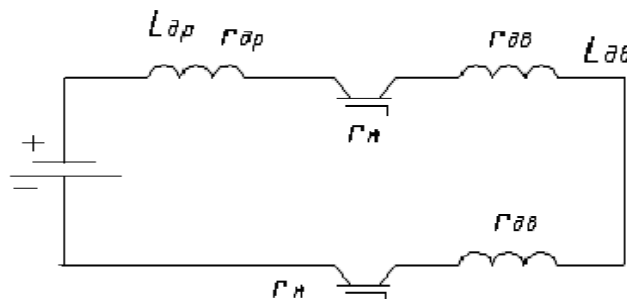


Рисунок 3.4. Схема заміщення електричного кола “імпульсний перетворювач - тяговий двигун”.

$r_{dp}$  – активний опір дроселя;

$r_m$  – активний опір модуля;

$r_{dv} = r_{я} + r_3 + r_d$  активний опір якорної обмотки двигуна з додатковими полюсами та обмоткою збудження

Розрахуємо параметри модуля і дроселя.

По струму двигуна:

$$I_d = \sqrt{\frac{3}{2}} I_{НОМ}$$

де:  $I_d$  – середнє значення струму на виході модуля

$I_{НОМ}$  – номінальний струм якоря двигуна,  $I_{НОМ} = 58$  А.

$$I_d = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot 58 = 72 \text{ А.}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу по струму  $K_{зi} = 2...3$  визначаємо розрахунковий струм через транзистор модуля  $I_M$ :

$$I_M = K_{зi} \cdot I_d = 2 \cdot 72 = 144 \text{ А.}$$

Напруга на транзисторі модуля  $U_M$  визначається за формулою:

$$U_M = 1,5 \cdot U_d,$$

де:  $U_d$  – напруга в ланцюзі постійного струму, яка дорівнює напрузі контактної мережі:

$$U_d = 250 \text{ В.}$$

$$U_M = 1,5 \cdot 250 = 375 \text{ В.}$$

В якості силових ключів перетворювача приймаємо IGBT – модуль з двома транзисторами фірми IR 4- покоління GA100TS604, який має наступні параметри:

$$U_M = 600 \text{ В; } I_M = 200 \text{ А; } \Delta U_M = 2,1 \text{ В.}$$

Де:  $\Delta U_M$  – падіння напруги на транзисторі модуля у відкритому стані.

Відповідно, активний опір модуля  $r_M$  у відкритому стані:

$$r_M = \frac{\Delta U_M}{I_d} = \frac{2,1}{72} = 0,04 \text{ Ом.}$$

$$\text{Активний опір дроселя: } r_{дP} = \frac{\Delta P_{дP}}{I_d^2} = \frac{100}{52,66^2} = 0,036 \text{ Ом;}$$

де:  $\Delta P = 100$  Вт.

Постійна двигуна (для часового режиму)

$$C_\delta = \frac{P \cdot 10^3}{\omega \cdot I_\alpha} = \frac{15 \cdot 10^3}{73 \cdot 58} = 3,53;$$

Індуктивність якорної обмотки:

$$L_{я} \approx 0,25 \cdot \frac{U}{p \cdot I_{я} \cdot \omega}$$

$$L_{я} \approx 0,25 \cdot \frac{250}{2 \cdot 58 \cdot 73} = 0,03 \text{ Гн}$$

Де:  $p$ - число пар полюсів;

Індуктивність зглажуючого дроселя:

$$L_{др} = 0,0002 \text{ Гн.}$$

Еквівалентна індуктивність мережі „перетворювач-тяговий двигун”:

$$L_{е} = L_{др} + 2L_{з} + 2L_{я} = 0,0002 + 0,03 + 0,07 = 0,1002 \text{ Гн.}$$

Еквівалентний активний опір знаходимо за формулою:

$$r_{дв} = r_{я} + r_{з} + r_{д} \quad \text{Ом}$$

$$r_{дв} = 0,34 + 0,2 + 0,43 = 0,97 \text{ Ом}$$

Постійна часу  $T_{е}$  ланцюга „імпульсний перетворювач-двигун”

$$T_{е} = \frac{L_{е}}{r_{е}} = \frac{0,102}{0,97} = 0,105 \text{ сек.}$$

Зворотній зв'язок за струмом ланцюга „імпульсний перетворювач-двигун” виконується через якірне коло. В якості датчиків струму в теперішній час широко використовуються датчики Холла, з роз'ємними сердечниками.

Однак датчики струму на ефекті Холла мають високу собівартість і не враховують особливості роботи інвертора. Зняття сигналів з струмового датчика переводить значення вимірюваного сигналу в діапазон мілівольтів, а піки вимірюваної напруги сягають від 600В до 1200В. При зміні полярності сигналу проявляється дія шумів 10в/нс. Інтегральна мікросхема IR2175 розроблена компанією IR, для реалізації струмових зворотніх зв'язків дозволяє виміряти ток в фазі електродвигуна по падінню напруги на шунті, перетворює аналоговий сигнал в цифровий і передає через гальванічну розводку в низьковольтну частину електропривода.

Інтегральна схема IR2175 вимірює струм у фазі електродвигуна по падінню напруги на шунті, перетворює аналоговий сигнал в цифровий і передає його в низьковольтну управляючу частину привода.

Технологія високовольтної ізоляції від фірми International Rectifier, що використовується для виготовлення цього приладу, дозволяє виконувати високочастотне перетворення вхідного сигналу. Вихідний сигнал IR2175 є цифровим ШИМ сигналом змінної шпаруватості. Застосування даного типу мікросхеми, виключає необхідність використання аналого-цифрового інтерфейсу, для її живлення використовується просте бутстрепне джерело. Окремий висновок, що сигналізує про струмове перевантаження (-OC), забезпечує захист вихідних ключів приводу від КЗ в навантаженні. Виходи з відкритим стоком, дозволяють легко підключатися до будь-яких схем, де напруга живлення від 3.3 до 15 В.

Час спрацьовування вузла сигналізації про перевантаження по струму у IR2175 складає 2.0 мкс в порівнянні із 3 ~4 мкс у оптронних датчиків або датчиків виконаних із застосуванням ефекту Холу, причому не вимагається застосовувати додатково два компаратори і операційний підсилювач для зсуву рівня сигналу. Малий власний споживаний струм дозволяє включити мікросхему, використовуючи живлення від фази двигуна через ємність. Коефіцієнт передачі струму у даного типу струм - сенсора стабільний на відміну від оптронів, де він змінюється через старіння світлодіода.

Таблиця 3.4 Технічні дані давача струму.

Основні параметри	Значення
Струми, які вимірюються: $I_{ном}$ $I_{мах}$	200 А $\pm 250$ А
Номінальна вихідна напруга при $I = 100$ А	$\pm 10$ В $\leq \pm 0.02\%$
Точність виміру	$\pm 12$ до 15 В
Живляча напруга	3 кВ
Напруга ізоляції	$0 \div 130$ кГц
Частотний діапазон	

Коефіцієнт передачі зворотного зв'язку  $K_f$ :

$$K_I = \frac{U_{OIMAX}}{I_{MAX}} = \frac{10}{210} \approx 0,05;$$

де:  $I_{max}$ - максимальний струм в ланцюзі пост. струму  $I_{max}=200A$ .

Для узгодження вихідних ланцюгів перетворювача і датчика струму,  $K_I$  коректується за допомогою операційного підсилювача в ланцюзі ОЗ за струмом.

В теперішній час зворотній зв'язок за швидкістю в промислових електроприводах виконується за допомогою тахогенераторів постійного або змінного струму ВР.

Визначення передаточних функцій і вибір параметрів регуляторів.

У загальному випадку передаточні функції регуляторів кожного контуру систем з підлеглим регулюванням координат знаходять з умови компенсації великих сталих часу і коефіцієнтів передачі елементів електроприводу відповідно до виразу:

$$W_{PER}(p) = \frac{1}{aT_{\mu}pW_{OK}(p)},$$

де:  $W_{PER}(p)$  - передатна функція регулятора;

$a$  – настроювальний параметр відповідного контуру;

$T_{\mu}$  - некомпенсована (мала) стала часу контуру;

$W_{OK}(p)$  - передатна функція контуру об'єкта, компенсованого в цьому контурі.

За структурою регулятор струму АА з підлеглим регулюванням виходить пропорційно-інтегральний (ПІ – регулятор). Передатна функція розімкнутого контуру:

$$W_{POZ}(p) = \frac{U_{OI}(p)}{U_{ZI}(p)} = W_I(p) \times \frac{K_{UM}}{T_{\mu}p+1} \times \frac{1/R_E}{T_Ep+1} \times K_I = \frac{1}{aT_{\mu}p(T_{\mu}p+1)};$$

$$W_I(p) = \frac{T_Ep+1}{aT_{\mu}K_{UM}pK_I/R_E} = \frac{T_E+1}{T_Ip} = K_4 + \frac{K_5}{p},$$

де:  $K_4 = R_E T_E / (a T_{\mu} K_{UM} K_I)$ ,  $K_5 = R / (a T_{\mu} K_{UM} K_I)$ ;

$a = 2$  – настроювання по модульному оптимуму;

$T_{\mu}$  - некомпенсована стала часу,  $T_{\mu} = \min(T_{UM}, T_E)$ .

Оскільки стандартне значення  $T_{\mu}$  для перетворювачів  $T_{\mu} = 0,01 \div 0,02$  сек., то приймаємо

$$T_{\mu} = T_{UM} = 0,02 \text{ сек.}$$

Коефіцієнт передачі перетворювача, як що опорною напругою є косинусоїда з амплітудою  $U_{опmax}$ , яка проходить через нуль при  $\alpha = \frac{\pi}{2}$ , виходить постійним:

$$K_{UM} = \frac{E_{d0}}{U_{опmax}} = \frac{220}{10} \approx 22;$$

Тоді:

$$K_4 = \frac{7.37 \cdot 0.002}{2 \cdot 0,01 \cdot 22 \cdot 0,05} = 0,67$$

$$K_5 = \frac{7.37}{2 \cdot 0,01 \cdot 22 \cdot 0,05} = 335$$

$$T_I = \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 22 \cdot 0,05}{7.37} = 0,002$$

Розрахуємо параметри регулятора АА на ОП:

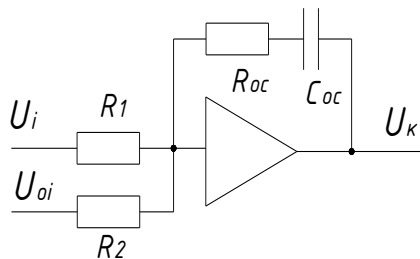


Рисунок 3.5 Регулятор швидкості

$$W(p) = \frac{R_{oc} \cdot C_{oc} + 1}{R_{BX} \cdot C_{oc}}$$

Тоді:

$$R_{oc} \cdot C_{oc} = T_E = 0,002 \text{ сек.};$$

$$R_2 \cdot C_{oc} = R_1 \cdot C_{oc} = T_I = 0,003 \text{ сек.}$$

Приймаємо  $C_{oc} = 1 \text{ мкФ} = 1 \times 10^{-6} \text{ Ф};$

$$R_{OC} = \frac{T_E}{C_{OC}} = \frac{0,002}{1 \cdot 10^{-6}} = 2 \text{ кОм};$$

$$R_1 = R_2 = \frac{T_I}{C_{OC}} = \frac{0,003}{1 \cdot 10^{-6}} = 389 \text{ кОм}.$$

Принципова схема регулятора струму АА показана на листі 6 графічної частини. Встановлюємо  $C_1=1 \cdot 10^{-6}$  Ф;  $R_2=R_3=3$  кОм;  $R_5=2$  кОм;  $R_7=1$  кОм.

### Розрахунок регулятора швидкості

Регулятор швидкості АR за структурою в загальному випадку може бути реалізований, як ПІ – регулятор з передатною функцією виду:

$$W(p) = K_2 + \frac{K_3}{p},$$

де:  $K_2 = \frac{K_I \cdot J}{a_\omega \cdot a_I \cdot T_\mu \cdot K_M \cdot K_\omega}$  - коефіцієнт передачі пропорційної частини

регулятора швидкості;

$a_\omega = 2 \dots 4$  – настроювальний параметр контуру швидкості;

$J$  – приведений момент інерції.

Приведений момент інерції розраховано у 2 розділі і для звантаженого потягу для 1 двигуна складає  $J=40$  кгм<sup>2</sup>

$K_M$ - механічний к-т:

$$K_M = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{M_{ном}}{I_{ном}} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{205,17}{43} = 9,75.$$

Приймаємо регулятор швидкості як ПІ – регулятор

$$W(p) = K_2$$

$$K_2 = \frac{0,05 \cdot 40}{8 \cdot 0,01 \cdot 978 \cdot 0,128} = 20$$

Для отримання коефіцієнта підсилювання  $K_2 = 20$  у регуляторі АR на листі 6 графічної частини встановлюємо резистори  $R_5 = R_8 = 10$  кОм;  $R_{13} = 200$  кОм.

Типовими задавальними пристроями в системах керування електроприводом є задатчики інтенсивності ЗІ (АІ), які забезпечують плавну

зміну сигналу заданої швидкості  $U_{\omega}$  при стрибкоподібному (ступеневому) переході вхідного сигналу  $U_{ВХ}$  від одного значення до іншого. Величина  $U_{ВХ}$  визначається діями машиніста-оператора (наприклад, через сельсинний командоапарат) або системою автоматичного завдання необхідних координат швидкісної діаграми. На практиці широке поширення одержали задатчики інтенсивності першого ЗІ-1 (АІ-1) та другого ЗІ-2 (АІ-2) порядків

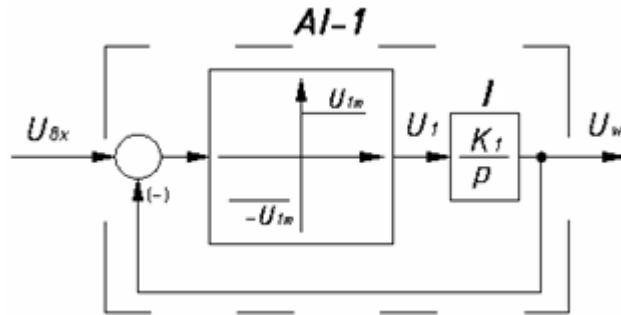


Рисунок. 3.6. Структурна схема задатчика інтенсивності першого порядку.

### 3.1 Моделювання електроприводу з двигуном постійного струму послідовного збудження та широтно імпульсним перетворювачем

Для двигуна послідовного збудження, як і для інших двигунів постійного струму при живленні якоря від джерела напруги ( $U = \text{const}$ ), справедливі раніше наведені рівняння [ ]. Однак, якщо для двигуна незалежного збудження потік не залежить від струму навантаження, то для двигуна послідовного збудження потік є функцією струму навантаження. Ця залежність визначається кривою намагнічування. Структурна схема двигуна з передавальними функціями наведена на рис.1

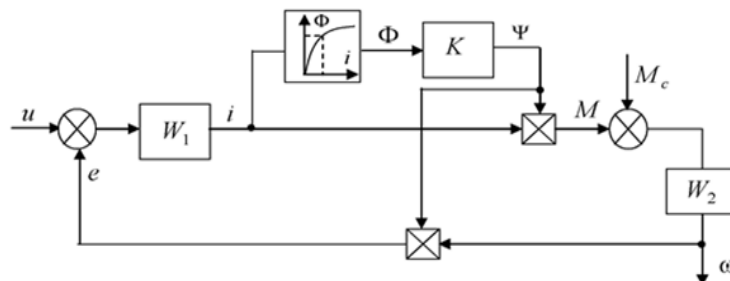


Рисунок 3.7 Структурна схема двигуна послідовного збудження

$$W_1(p) = \frac{i(p)}{u(p) - e(p)} = \frac{1}{R(T_{дв}p + 1)}; \quad W_2(p) = \frac{1}{Jp}$$

$$T_{дв} = \frac{L_B + L_M}{r_{об} + r_я + R_p}, \quad (T_я = \frac{L_я}{r_я})$$

Загальне диференціальне рівняння двигуна постійного струму послідовного збудження:

$$T_{дв} T_M \frac{d^2 \omega}{dt^2} + T_M \frac{d\omega}{dt} + \omega - \frac{u}{\psi} - \frac{i_c R}{\psi} - \frac{L_{дв}}{\psi} \frac{di_c}{dt}$$

Постійна двигуна  $T_{дв}$ , потікозчеплення  $\psi$ , та індуктивність двигуна  $L_{дв}$  залежать від струму,

тому розрахувати передавальні функції двигуна послідовного збудження аналітичним шляхом досить складно. Враховуючи вищесказане, аналіз перехідних процесів та регульовальних характеристик з застосуванням регуляторів проводять методом комп'ютерного моделювання на основі схеми, наведеної на рисунках 3.8 та 3.9 [6.7.8].

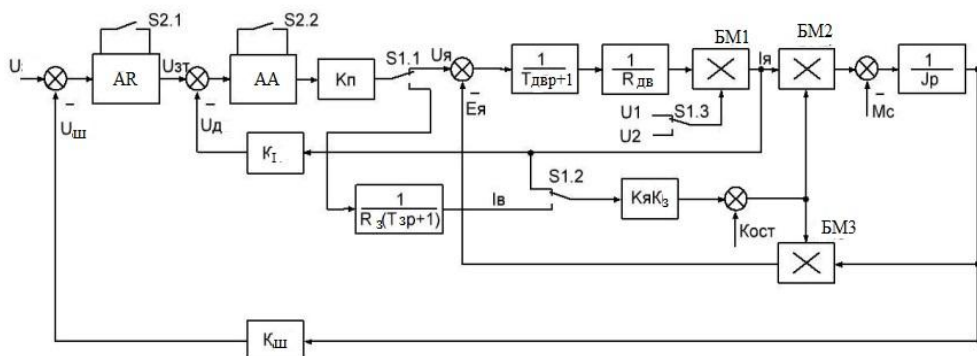


Рисунок 3.8 – Структурна схема замкнутої системи регулювання швидкості

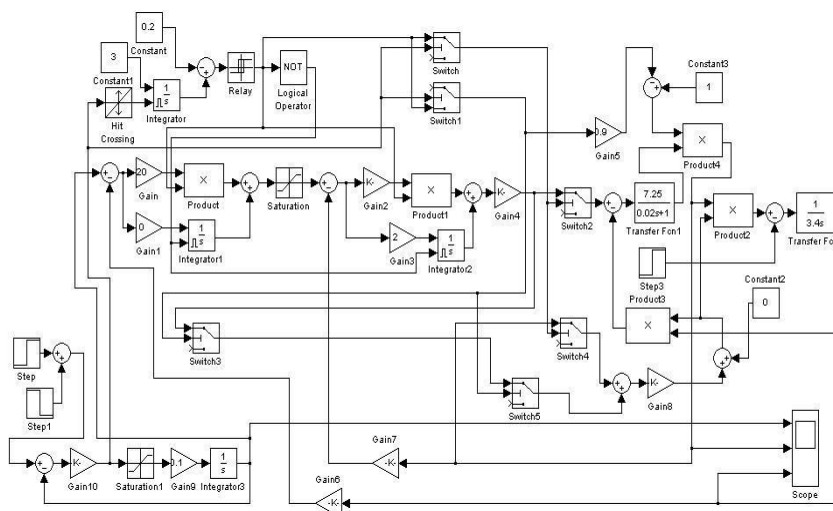


Рисунок 3.9 – Структурна схема електромеханічної системи в середовищі MATLAB4.4

### 3.2 Розрахунок перехідних електромагнітних процесів в електроприводі електровоза

Спрощена схема силової частини електроприводу, а також розрахункові схеми на інтервалах роботи  $t_a$  і  $t_o$  показані на рис. 3.11

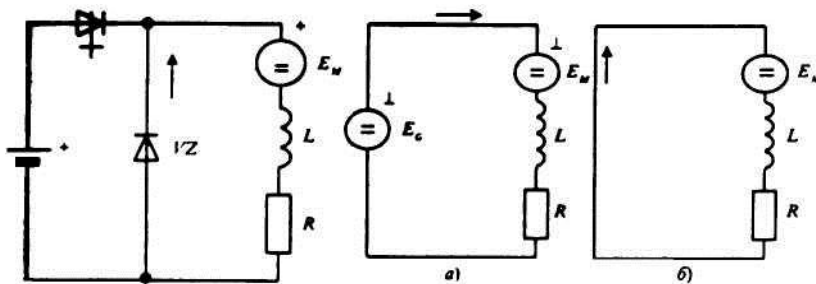


Рисунок 3.11 Спрощена схема силової частини електроприводу

Діаграми напруг (а) і струмів (б) показані на рис. 3.12

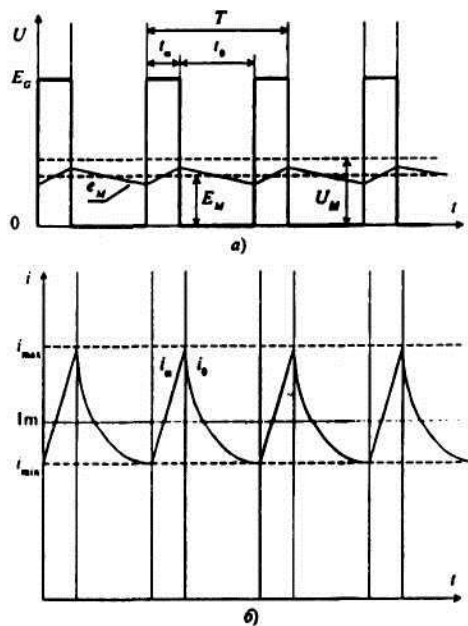


Рисунок 3.12 Діаграми напруг (а) і струмів (б)

Працює силова частина таким чином: при подачі відпираючого імпульсу на тиристор який запирається  $VT$ , через обмотки двигуна протікає

струм  $i_a$ , визначуваний сумарним опором  $R_s$  і сумарною індуктивністю  $L_s=L_M+L_a$ . Після відключення тиристора  $VT$ , струм двигуна  $i_o$  протікає через нульовий діод  $VZ$ , визначуваний е.д.с. двигуна  $E_M$ . Розрахункові схеми представлені на рис.4.8, а діаграма на рис.4.9.

Прийняті позначення:

$U_c$  - напругу на контактній мережі  $U_c=250\pm 20$  В.;  $E_M$  - е.д.с. двигуна;  $T_k$  - період ШИМ-регулятора  $f=1000$  Гц;  $t_a-\gamma T_k$  - інтервал провідності ключа  $VT$ ;

$t_o$  - інтервал провідності діода  $VZ$

$t_o=(1-\gamma)T_k$ ;  $\gamma=t_a/T_k$  - шпаруватість імпульсів провідності;  $T_{эм}=L_s/R_s$  - електромагнітна постійна;  $U_m$ ,  $I_m$  - середнє значення напруги і струму навантаження.

Проведемо розрахунки параметрів імпульсного регулятора:

$$U_m = qU_c; I_m = \frac{U_m - E_M}{R} = \frac{U_c - E_M}{R}.$$

Рівняння перехідних процесів для  $i_a$  і  $i_o$  будуть:

$$i_a = \frac{\gamma U_c - E_M}{R} \left[ \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_{эм}}} \right) + i_{\min} e^{-\frac{t}{T_{эм}}} \right];$$

$$i_o = -\frac{E_M}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_m}} + i_{\max} e^{-\frac{t}{T_m}} \right);$$

Використовуючи граничні умови  $i_{\max}=i_a(t=t_a)$ ,  $i_{\min}=i_o(t=t_o)$  знайдемо:

$$i_{\max} = \frac{U_c - \left( 1 - e^{-\frac{t_a}{T_{эм}}} \right)}{R \left( 1 - e^{-\frac{T_k}{T_{эм}}} \right)} - \frac{E_M}{R};$$

$$i_{\min} = \frac{U_a}{R} \cdot \frac{e^{-\frac{t_o}{T_{эм}}} - e^{-\frac{T_k}{T_{эм}}}}{1 - e^{-\frac{T_k}{T_{эм}}}} - \frac{E_M}{R};$$

$$\Delta i_{\max} = i_{\max} - i_{\min} = \frac{U_c}{R} \cdot \frac{1 - e^{-\frac{t_a}{T_{эм}}} - e^{-\frac{t_o}{T_{эм}}} + e^{-\frac{T_k}{T_{эм}}}}{1 - e^{-\frac{T_k}{T_{эм}}}};$$

Останній вираз, як показують експериментальні дані [ ] можна спростити:

$$\Delta i = \frac{U_c}{R} \cdot \frac{T_k}{T_{эм}} \cdot \frac{2\gamma(1-\gamma)}{2.733 - \frac{T_k}{T_{эм}}};$$

Задаємо коефіцієнт пульсації струму тягового двигуна  $k_i=0.05$ , що в 5 разів менше прийнятого в даний час на електровозах з імпульсними схемами тиристорів з примусовою комутацією. Відомо, що 5% номінального струму гарантують надійну роботу колектора тягового двигуна.

Коефіцієнт пульсації струму двигуна:

$$k_i = \frac{\Delta i}{2I_M} = \frac{1}{\gamma_o} \cdot \frac{T_k}{T_{эм}} \cdot \frac{\gamma(1-\gamma)}{2.733 - \frac{T_k}{T_{эм}}},$$

де  $\gamma_o = \frac{RI_{\max}}{U_c} = \frac{0.393 \cdot 250}{250} = 0.393$  - шпаруватість імпульсів при рушанні

електровоза.

Тоді, мінімальна частота, що задовольняє по пульсаціях:

$$f_{\min} = 0.092 \frac{1 + 4\gamma_o k_i}{\gamma_o k_i T_{эм}} \approx \frac{0.096}{\gamma_o k_i T_{я}} = \frac{0.096}{0.393 \cdot 0.05 \cdot 4.7 \cdot 10^3} \approx 1039 \text{Гц};$$

Прийнята частота повністю задовольняє умовам роботи без введення додаткових дроселів

#### 4.5 Розроблення широтно-імпульсного регулятора

Для розробки широтно-імпульсного регулятора для регулювання напруги електровоза приймаємо наступні параметри.

Напруга контактної мережі  $U_{CB} = 250 \text{ В}$ ;

Скважність регулювання  $\gamma = 0,1$ ;

Код опорного сигналу  $20 \text{ h}$ ;

Квантування по рівню - приймається рівним 256 (розрядність шини даних мікроконтролера).

Тоді похибка регулювання

$$\Delta U = \frac{U_c}{256} \approx 1 \text{ В} , \text{ що}$$

Цілком достатньо для тягового двигуна.

Шпаруватість регулювання визначається по формулі

$$\gamma = 0,5 + \frac{(U_c - 20 \cdot h)}{256}$$

Розрахуємо константи завантаження таймера. Приймаємо як пристрій для генерації імпульсів управління широтно-імпульсним регулятором програмований таймер КР 1810ВИ54. Таймер включає три незалежні канали рахунку, кожний з яких може бути запрограмований на роботі в одному з 6 режимів для подвійного або двійково - десяткового рахунку. Використовуємо наступні режими роботи каналів :

канал 0 - програмований мультівібратор;

канал 1 - імпульсний генератор частоти для запуску каналу 0 (режим 2);

канал 3 - імпульсний генератор частоти для завдання частоти роботи широтно-імпульсного регулятора режим 2.

Як вигляд з листа градієнтної частини, лінії А1 і А2 вибирають 1 з 3 каналів таймера або регістр слова, що управляє. Таким чином адресами таймера буде:

адреса каналу 0 - 00h

адреса каналу 1 - 02h

адреса каналу 2 - 04h

Приймаємо вихідну частоту таймера 1 кГц - опорна частота ШИР, а частота тактових імпульсів 6,5 мГц.

Період роботи широтно-імпульсного регулятора :

$$T_p = \frac{1}{f} = \frac{1}{10^3} = 1 \text{ мкс};$$

Тоді тривалість імпульсу

$$\tau_i = \frac{T}{2} + \frac{T}{256}(U_c - 20h) = 0,5 + \frac{1}{256}(U_c - 20h) \text{ мс};$$

Тривалість рахункових імпульсів каналів (CLK) при частоті роботи мікропроцесора 6,5 мГц складе

$$T_{CLK} = \frac{1}{6,5 \cdot 10^6} = 154 \text{ нс};$$

Код завантаження каналу 0 таймера визначається як відношення  $\tau_i$  до  $T_{CLK}$ :

$$N_0 = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{153 \cdot 10^{-9}} + \frac{10^{-3}}{256 \cdot 153 \cdot 10^{-9}}(U_c - 20h) \approx 3267 + 26(U_c - 20h) ;$$

Коефіцієнт каналу 1 визначається як відношення тривалості ШИР - регулятора  $T_p = 1 \cdot 10^{-3}$  с до тривалості періоду  $T_{CLK}$

$$N_1 = \frac{T_p}{T_{CLK}} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{153 \cdot 10^{-9}} = 6536;$$

Коефіцієнт ділення каналу 2 визначається частотою опиту мікропроцесора для регулювання напруги на тягових двигунах. Приймаємо частоту опиту 10 кГц.

Тоді період опиту

$$T_{np} = \frac{1}{f_{оп}} = \frac{1}{10 \cdot 10^3} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ сек} = 100 \text{ мкс};$$

$$N_2 = \frac{T_{np}}{T_{CLK}} = \frac{0,1 \cdot 10^{-3}}{153 \cdot 10^{-9}} = 654;$$

Алгоритм роботи показаний на рис. 3.13

Спочатку в обидва канали таймера завантажуються керуючі слова :

Слова, що керують, для каналу 0 складе 32h, для каналів 1 і 2 (режими 2) складуть відповідно 74h і В4h. Після завантаження слів, що керують, програма завантажує неявні значення коефіцієнтів в канал 1 і 2

На цьому ініціалізація закінчується і починається цикл підрахунку необхідної напруги на тягових двигунах електровоза

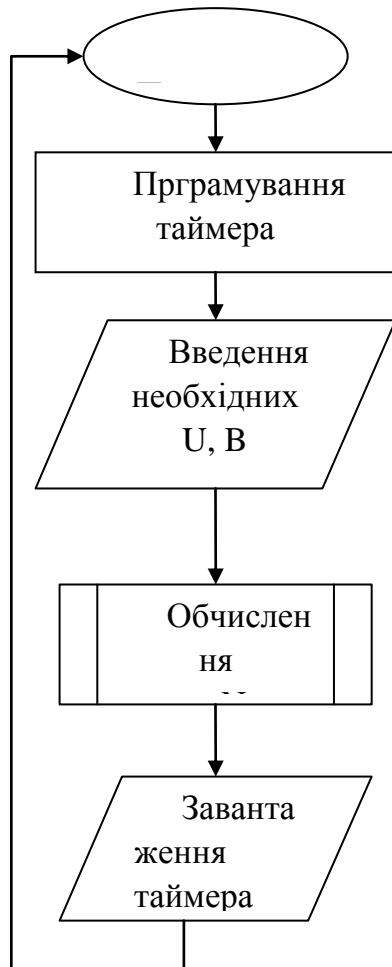


Рисунок 3.13 Алгоритм роботи широтно - імпульсного регулятора.

### Висновки до третього розділу

Запропоноване та обґрунтоване перетворення м'яких характеристик у жорсткі дозволяє використовувати загальнопромислові електроприводи з двигунами послідовного збудження й при малих навантаженнях, а в тягових електроприводах – знизити інтенсивність буксування колісних пар електрорухомого складу. Розроблена методика розв'язання перехідних рівнянь дає можливість врахувати випадковий характер зміни напруги на

двигуні в режимах зарядження та розрядження суперконденсаторного накопичувача. Запропонований комбінований метод РГ робить можливим здійснення РГ й при малих швидкостях обертання якоря електродвигуна, тим самим підвищуючи енергоефективність експлуатації електроприводів цього типу.

#### **РОЗДІЛ 4 ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ РЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ ШАХТ**

В силу практично вичерпаної можливості подальшого поліпшення показників рудникових електровозів за рахунок збільшення кількості осей і підвищення навантаження від колісних пар на рейки на перший план виступають завдання вдосконалення систем їх управління. При цьому розуміють вдосконалення двох основних систем управління, використовуваних для автоматизації рейкового транспорту шахт, а саме: систему керування електровозом і систему управління рухом електровозів.

В організації цього руху беруть участь машиністи електровозів, супроводжувачі потягів, транспортні диспетчери та допоміжний персонал. При цьому окрім задачі керування електровозом виникає потреба переведення стрілок, відкривання (закривання) вентиляційних дверей, зміни сигналів світлофора та інше. Для автоматизації цих операцій випускається декілька видів обладнання, найбільш досконалим серед яких слід вважати комплекс НЭРПА, який вироблявся заводом «Красний металіст» і значно підвищує продуктивність електровозного транспорту при незначному скороченні обслуговуючого персоналу.

**Таблиця 4.1. Технічні засоби автоматизації рейкового транспорту шахт**

Засоби автоматизації (1)	Завод-виробник (2)	Рік початку серійного виробництва (3)
Апаратура автоматизованого управління: ТЭРА.1 рудничними	«Углеприбор»	1982

аккумуляторними електровозами УКТН рудничними контактними електровозами	(м. Луганськ) «Електромашина» (м. Харьков)	1989
Апаратура автоматичного блокування стрілок і сигналів: АБСС-1М АБСС-2М	КЕМЗ	1987
	КЕМЗ	1989
Тиристорний контролер: КТВ1 (КТВ2) у вибухобезпечному виконанні	«Електромашина»	1988
1	2	3
КТН в рудниковому виконанні	«Електромашина»	1989
Пристрій ПФІ формування інформації	Дніпропетровський шахтної автоматики	1981
Індикатор ИРП.1М вантажного пункту шахти	ДЗША	1986
Пристрій УФИ.1М для рахунку вагонеток і секцій секційних потягів	ДЗША	1989
МікроЕОМ ТВСО-1	«Синхроприбор» (м. Чернівці)	1985
ЕОМ з кольоровим графічним терміналом РМОТ	«Синхроприбор»	1985
Апаратура АСТРА, ВГСТ зв'язку диспетчера з машиністом електровоза	«НЭПТУН» (м. Одеса), ЦЕММ шахтного зв'язку (м. Донецьк)	1980
Пульт КДШ.1М зв'язку транспортного диспетчера	ЦЕММ шахтного зв'язку	1989
Стабілізоване джерело живлення ИСН-1	«Електромашина»	1984
Звуковий двухтональний сигналізатор СЗД	КЕМЗ	1985
Уніфіковані датчики контролю положення ДКПУ (модифікації ДКПУ-11, ДКПУ-12, ДКПУ-21, ДКПУ-22)	ДЗША	1985
Пристрій: УКП контролю положення УКГМ контролю гірської маси на конвеєрі	КЕМЗ	1989
	ДЗША, ДЕЗ ГУА	1989

Безконтактний вимикач ВЕТ рейкового електромагнітного гальма	«Углеприбор»	1983
Датчик: контролю положення ДКП-М виду вантажу в посудині ДГ	КЕМЗ	1981
	Експериментальний (м. Биково, Московської обл.)	1989

До найбільш важливих засобів автоматизації рейкового транспорту шахт (таблиця 4.1), що серійно випускаються відносяться:

1) із систем управління електровозами – апаратура автоматизованого управління рудниковими акумуляторними електровозами ТЭРА.1 неконтактними електровозами УКТН;

2) із систем управління рухом електровозного транспорту – комплекси НЭРПА і НЭРПА-1 для автоматичного визначення номера і напрямку руху електровоза і частотного керування стрілочними переводами з кабіни машиніста, комплекс контролю руху рейкового транспорту КДРТ (КДРТ1, КДРТ2, КДРТ3), апаратура автоматичної сигналізації, централізації і блокування стрілок і сигналів АБСС.1М, АБСС.2М;

3) окремі засоби автоматизації – тиристорний вибухозахисний контроллер КТВ1 (КТВ2) для управління тяговими двигунами рудникових акумуляторних електровозів зчіпною масою 7-10 т, тиристорний контроллер КТН в нормальному виконанні для управління тяговими двигунами рудникових контактних електровозів такою ж зчіпною масою, пристрої для рахунку вагонеток УФИ і УФИ.1М з індикатором роботи вантажного пункту ИРП.1М для представлення інформації; про розставлення вагонеток, мікроЕОМ ТВСО-1, ЕОМ, з кольоровим графічним терміналом РМОТ, апаратура зв'язку диспетчера з машиністом електровозів АСТРА і ВГСТ, пульт зв'язку транспортного диспетчера КДШ.М, стабілізоване джерело живлення ИСН-1, двотональний звуковий сигналізатор СЗД (СЗД.1М);

4) датчики – уніфіковані типу ДКГШ (модифікації ДКПУ-11, ДКПУ-12, ДКПУ-21, ДКПУ-22) для контролю положення шахтних рухомих об'єктів, магнітогерконові ДПМГ, а також УКП для контролю положення

великогабаритних рухливих об'єктів (відстань між випромінюваною і приймальною антенами досягає 5,5 м), типу вантажу в посудині ДГ, контролю гірської маси на конвеєрі УКГМ, безконтактний вимикач ВЭТ рейкових електромагнітних гальм та ін.

Вдосконалення засобів автоматизації на підземному рейковому транспорті пов'язане з підвищенням надійності їх роботи, розширенням функціональних можливостей і застосуванням сучасної елементної бази, включаючи потужні тиристорні перетворювачі силової частини систем управління приводом електровоза й інтегральні мікросхеми різної міри інтеграції аж до мікропроцесорних комплектів – в малопотужній частині згаданих систем управління, системах управління рухом електровозів, в окремих засобах відбору інформації і датчиках.

У нових засобах автоматизації істотно розширені діагностичні можливості аж до 100%-го самоконтролю справності елементів їх електричних схем.

Одним з основних напрямів подальшого вдосконалення автоматизації на підземному рейковому транспорті являється застосування обчислювальної техніки для управління процесом транспортування, що дозволить найдоцільніше використовувати технічні можливості транспортної системи і істотно підвищити її ефективність. У зв'язку з цим розширена номенклатура розроблюваних засобів автоматизації для рейкового транспорту шахт, а оновлення існуючих проводиться з урахуванням забезпечення їх роботи з ЕОМ підсистеми АСУ ТП "Локомотивний транспорт" без використання додаткових (узгоджуючих) апаратів.

#### **4.1 Автоматизовані системи управління рухом потягів**

Управління рухом електровоза транспорту охоплює питання організації (технології) процесу транспортування гірської маси від очисних забоїв до ствола, а також забезпечення безпеки і безаварійності руху електровозів. Технологічний процес транспортування вугілля електровозами включає

подачу порожнього вагону від місця стоянки у приствольного двору до вантажного пункту, маневри електровоза у вантажного пункту під час завантаження вагонеток, рух навантаженого складу до місця розвантаження у біляствольного двору, маневри електровоза коло пункту розвантаження вагонеток, рух до місця стоянки порожніх вагонів.

Найбільшою мірою вирішенню цих питань відповідає впровадження підсистеми АСОВІ ТП "Локомотивний транспорт", яка заснована на використанні ЕОМ і призначена для автоматичного централізованого контролю роботи вантажних пунктів і електровозів, визначення і усунення простоїв вантажних пунктів з організаційних і експлуатаційних причин, аналізу роботи транспорту за зміну і добу з видачею рекомендацій про маршрут локомотиву по подачі порожніх вагонеток і вивезенню навантажених, а також систем управління, основу яких складають пристрої сигналізації, централізації і блокування (СЦБ), апаратура частотного управління стрілками з рухомого електровоза і апаратура високочастотного зв'язку машиніста електровоза з диспетчером.

Підсистема АСУ ТП "Локомотивний транспорт", до складу технічних засобів якої входять обчислювальний комплекс СМ1634, система телемеханіки УТШ, комплекс пристроїв НЭРПА (КДРТ) для прочитування номера електровоза і напряму його руху, комплекс пристроїв УФИ (УФИ.1М), формування інформації для рахунку вагонеток і індикатори ИРП роботи вантажних пунктів, а також ряд датчиків контролю включеного стану живильників вантажних пунктів, магістральних конвеєрних ліній і пристрій контролю рівня вугілля в бункері вантажного пункту (РКУ.1М, УКУ), впроваджується повільними темпами (1-2 системи щорічно) і в основному на нових вугільних підприємствах.

В зв'язку з цим зростає роль впровадження локальних систем автоматизації на рейковому транспорті (комплексу УФИ з індикатором ИРП, комплексів НЭРПА, КДРТ і т. п.), які забезпечують диспетчера інформацією про число порожніх і навантажених одиниць рухомого складу на вантажних

пунктах і у околотвольном дворі, а також про місцезнаходження кожного електровоза на тій або іншій ділянці цього горизонту (крила) шахти. Аналіз отриманої інформації і ухвалення рішення про нові маршрути руху того або іншого електровоза в цих системах покладаються на людину (диспетчера). Впровадження підсистеми "Локомотивний транспорт", з якою вказані локальні системи автоматизації сумісні, у такому разі спрощується.

Безпека і безаварійність руху електровозів забезпечують автоматичне управління їх маршрутами з використанням другої групи систем управління, основу яких складають пристрої і системи СЦБ, а також локальна апаратура частотного управління стрілками з рухомого електровоза і приладу високочастотного зв'язку машиніста електровоза з диспетчером. На рейковому транспорті шахт застосовуються три вида систем СЦБ:

1) диспетчерська централізація стрілок і сигналів, при якій диспетчер підземного транспорту примусово регулює рух електровозів, централізований переводячи стрілки на відкочувальних шляхах і відкриваючи сигнали світлофорів, на дозвіл руху. Розділення встановлених маршрутів відбувається автоматично при проходженні електровозів;

2) автоматичне блокування управління стрілок і сигналів;

3) автоматичне блокування сигналів управління світлофорами з незалежним управлінням стрілками з кабіни рухомого електровоза або кнопкового поста з місця розміщення стрілки.

Система автоматичного блокування стрілок і сигналів світлофорів здійснює автоматичне управління стрілочними переводами і сигналами світлофорів відповідно до заздалегідь заданого маршруту і на горизонтах шахт малої і середньої продуктивності реалізується з допомогою апаратури АБСС.1М (АБСС-1), яка може легко перебудовуватися при зміні путьового розвитку і організації руху електровозів на блок-ділянці. Для шахт великої продуктивності з інтенсивним рухом транспорту і складною організацією руху серійно випускається (по індивідуальних замовленнях) апаратура КУВЭТ, призначена для автоматизованого керування сигнальними вогнями і

стрілочними переводами, з видачею інформації диспетчерові і можливістю централізованої дії від диспетчера.

У системі автоматичного блокування стрілок і сигналів світлофорів (АБСС, КУВЭТ) використовується частотне управління стрілками з кабіни рухомого електровоза через передавальну і прийомну антени. При цьому на електровозі встановлюються апарат завдання маршрутів і антена, у виробітках – апарати управління сигнальними вогнями і стрілочними приводами, блок приймачів сигналів, антенні датчики, світлофори, світлові покажчики положення стрілок, транспаранти "Бережись електровоза", стрілочні приводи і пускачі до них, кабельні ящики.

Суть автоматичного блокування стрілок і сигналів світлофорів полягає в наступному.

Перед в'їздом на блок-ділянку машиніст електровоза за допомогою датчика запиту, встановленого перед вхідним світлофором, запитує маршрут. Якщо вимагаємий маршрут і ворожий йому вільні, а стрілки на прошеному маршруті переведені в задане положення, то червоний сигнал вхідного світлофора перемикається на зелений. У разі зайнятості прошеного або ворожого йому маршрутів червоний сигнал світлофора перемикається на миготливий червоний. Якщо ж маршрути вільні, а стрілки на блок-ділянці не переведені в задане положення, то червоний сигнал світлофора перемикається на миготливий зелений.

При зеленому сигналі світлофора електровоз в'їжджає на блок-ділянку і сигнал перемикається на червоний датчиком зміни маршруту. При виїзді електровоза з блок-ділянки датчик відбою маршруту приводить схему в початковий стан. У системах автоматичного блокування стрілок і сигналів задіяна значна кількість датчиків контролю положення рухомих об'єктів (датчики запиту, зміни і відбою маршруту та ін.), в ролі яких використовують приймачі і передавачі комплексу НЭРПА-1. Знаходять широке застосування датчики контролю положення екранного типу, наприклад ДКП-м. З 1990 р. датчик ДКП-м буде замінений на вдосконалений УКП.1(УКП.2). Замість

знятих з виробництва безконтактних датчиків положення БДП8-И і магнітних вимикачів серії ВМ на рейковому транспорті шахт знаходять також застосування уніфіковані датчики контролю положення типу ДКПУ (модифікації ДКПУ-11, ДКПУ-21, ДКПУ-12 і ДКПУ-22).

При невеликій кількості електровозів і стрілочних переводів, відносно невеликих об'ємах перевезень і коротких ділянках зустрічного руху застосовують спрощені схеми автоматизації руху без контролю положення стрілок і їх перекладу на маршруті, тобто третій вид систем СЦБ. Система ця може бути з нормально червоними, що горять, або із зеленими сигналами, що нормально горять. Перший різновид цієї системи набув більшого поширення на транспортних схемах вікатки електровоза шахт. За умовами безпеки руху другий різновид системи знаходить застосування рідкісно і може бути використаний тільки на прямих ділянках вікатки як авто-блокування для збільшення пропускної спроможності довгих прямих відкочувальних вироблень. При цьому система може бути як одностороннього напрямку руху, так і двостороннього.

Більшість вживаних на шахтах електровозів обладнані двигунами постійного струму послідовного збудження із ступінчастим регулюванням струму двигуна за допомогою механічного контроллера. Застосування такої контактної реостатної системи управління із ступінчастим управлінням швидкістю руху електровозів має істотні недоліки, оскільки не забезпечує економічне регулювання швидкості, мінімізацію втрат електроенергії в усіх елементах системи, плавне регулювання в широкому діапазоні напруги, що підводиться до двигуна, мінімальний час розгону з виходом на природну механічну характеристику двигуна, яка має бути жорсткою в усіх режимах роботи, і можливість автоматичного і дистанційного управління.

Найбільш економічними і гнучкими в управлінні являються автоматизовані системи плавного (безконтактного) управління режимами роботи приводу електровозів на основі тиристорних схем управління.

Основою таких систем управління є тиристорні імпульсні регулятори постійного струму, які діляться на частотні (ЧИР) і широтно-імпульсні (ШИР). Основною перевагою імпульсно-тиристорних систем управління являється те, що вони дозволяють автоматизувати пуск і гальмування електровоза шляхом безконтактного і плавного регулювання напруги на його тягових двигунах, забезпечуючи максимальне використання зчіпної маси електровоза. При цьому зводяться до мінімуму, втрати електроенергії, підвищується надійність системи управління і полегшується експлуатація електровозів.

Випускаємі вітчизняною промисловістю технічні засоби автоматизації, що відносяться до систем управління шахтними електровозами, є як окремі системи автоматизованого управління, так і ряд допоміжного електроустаткування, що встановлюється на електровозі.

*Комплекс контролю руху рейкового транспорту КДРТ* призначений для автоматичного відбору, передачі і представлення інформації про місцезнаходження рудникових електровозів на мнемощит підземному транспортному диспетчерові і передачі в АСУ-ТП "Локомотивний транспорт", а також для частотного управління стрілочними переведеннями і апаратурою безпеки з кабіни рухомого електровоза. Випускається замість комплексу НЭРПА.

У комплексі КДРТ, на відміну від комплексу НЭРПА, використовуються власні локальні системи телемеханіки і представлення інформації при збереженні зарекомендованого як шумостійке в шахтних умовах експлуатації принципу формування і передачі інформаційного сигналу, що містить коди номера електровоза і команди управління у вигляді амплітудно-модульованих сигналів високої частоти. Комплекс КДРТ містить три модифікації: КДРТ1, КДРТ2, КДРТ3. При цьому модифікація КДРТ1 призначена для частотного управління стрілочними переведеннями і апаратурою безпеки з кабіни машиніста (виконує одну функцію), КДРТ2 – для автоматичного відбору, передачі і представлення інформації про

місцезнаходження рудникових електровозів підземному транспортному диспетчерові з включенням функцій КДРТ1 (всього виконує чотири функції), а КДРТ3 – для передачі отриманої інформації в обчислювальний комплекс, що знаходиться на поверхні шахти, з включенням функцій КДРТ2.

Таким чином, комплекс КДРТ забезпечує виконання наступних п'яти основних функцій:

- 1) частотне управління стрілочними переведеннями і апаратурою безпеки з кабіни машиніста;
- 2) прийом і обробка інформації про номер і напрям руху електровоза;
- 3) передача інформації про номер ділянки, про номер і напрям руху електровоза транспортному диспетчерові;
- 4) відображення інформації на мнемощиті диспетчера;
- 5) передача інформації на поверхню шахти і введення інформації в обчислювальний комплекс

### Технічна характеристика комплексу КДРТ

Кількість	
контролюємих електровозів	25
точок контролю (ділянок)	10
сигналів керування	3
Тривалість вихідного сигналу, <i>c</i>	2
Спосіб передачі сигналів інформації	Індуктивний зв'язок
Допустима швидкість руху електровозу (не більш), <i>км/год</i>	30
Код номера електровоза	Двійковий нормальний
Чутливість приймачів (не більш), <i>мВ</i>	10
Швидкодія по прийому, <i>мс</i>	50
Несуча частота передатчика, <i>кГц</i>	110
Відображення інформації диспетчеру	Позиційне

На рис. 4.2 зображена структурна схема комплексу КДРТ, на якій виділені складові частини комплексу, що входять в кожну з трьох модифікацій: КДРТ1, КДРТ2 і КДРТ3.

Передавач ГСЛ, що встановлюється на електровозі, через антену А1 передає закодовану інформацію приймачам сигналів управління АПУ і АПИ1-АПИ10. Приймач АПУ, отримуючи сигнал від передавача ГСЛ (для цього машиніст натискає кнопку КУ), включає виконавчі механізми, для управління якими він призначений, наприклад, видає команду на включення приводу ПМС-4 для переведення стрілки та ін.

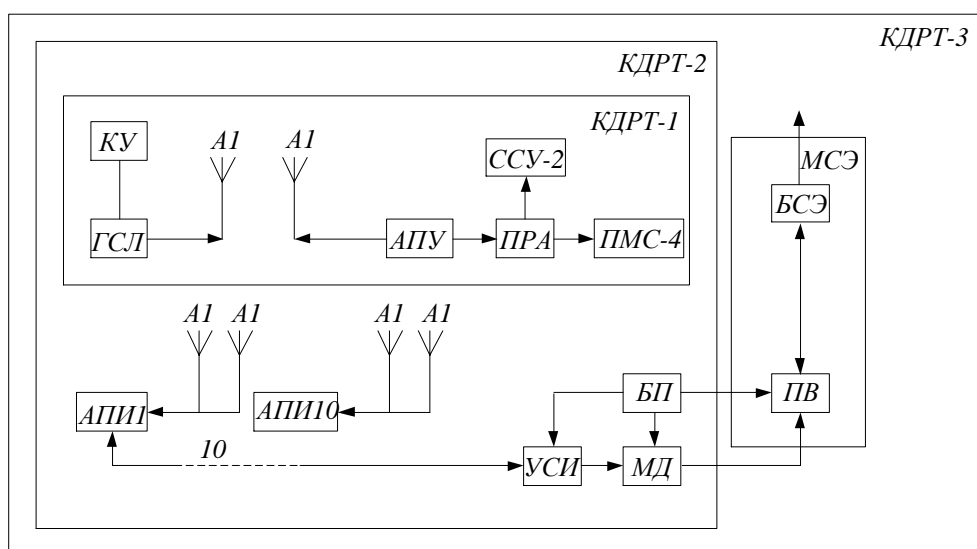


Рисунок 4.2 Структурна схема комплексу КДРТ контролю руху рейкового транспорту шахт.

Приймачі сигналів інформації АПИ1-АПИ10, встановлені по одному в кожній з 10 можливих точок контролю (ділянок), отримують інформацію від встановленого на прибулому (або тому, що поїхав) на цю ділянку електровозі передавача ГСЛ про номер цього електровоза і напрям його руху, дешифрують і передають в пристрій збору інформації УСИ. Останній розташовується разом з мнемощитом МД диспетчера в безпосередній близькості від підземного диспетчера (у околоствольному дворі).

Для перевірки роботи приймачів АПУ і АПН, служить переносний генератор, ГСП (на малюнку не показаний).

Обмін інформацією між пристроєм збору інформації УСИ і апаратами прийому сигналів інформації АПІ1-АПІ10 здійснюється по лінії зв'язку у вигляді пари дротів шахтного телефонного кабелю. Прийнята пристроєм УСИ інформація записується в його оперативний запам'ятовуючий пристрій, з якого потім прочитується і надходить на мнемощит МД диспетчера. На мнемощиті МД інформація висвічується світлодіодами. Номер стовпця світлодіодної матриці відповідає номеру електровоза, а номер рядка – номеру ділянки (точки контролю). При вході електровоза на ділянку світлодіод світиться рівним світлом, при виході - миготливим.

Модуль зв'язку з ЕОМ (МСЭ) складається з пульта введення ПВ і блоку БСЭ узгодження з ЕОМ, дозволяє здійснити обмін інформацією з ЕОМ на поверхні у разі використання КДРТ в АСУ ТП "Локомотивний транспорт". Крім того, до складу комплексу КДРТ входять: рудниковий автоматичний пускач ПРА, сигнальний світловий покажчик ССУ-2, блок живлення БП.

У комплексі КДРТ застосована сучасна елементна база, включаючи мікросхеми середньої міри інтеграції і БИСи.

***Апаратура автоматичного блокування стрілок і сигналів АБСС.1М*** призначена для автоматизованого управління сигнальними вогнями і приводами стрілочних переведень на блок-ділянках підземного рейкового транспорту шахт середньої і малої продуктивності (у окоlostвольних дворах, квершлагах і штреках). Апаратурою АБСС.1М обладнуються вузли з одно- і двохшляховими перегонами, одношляхові прийомо-відправні шляхи, що мають пружинні і автоматизовані стрілки, а також автоматичні блокувальні світлофори. Стрілки в цьому випадку переводяться по команді, що подається машиністом із кабіни рухомого електровоза.

Кількість керованих апаратурою АБСС.1М маршрутів на блок-ділянці рівно восьми, а автоматично керованих стрілочних переведень – чотири. Швидкість руху електровоза не повинна перевищувати 30 км/год.

При застосуванні апаратури АБСС.1М на світлофорі передбачається чотири різновиди сигналізації: червоне світло, яке показує, що маршрут зайнятий або вільний, але запиту на нього немає; червоне миготливе світло - запит прийнятий, але маршрут зайнятий; жовте світло - маршрут вільний, привідні стрілки знаходяться в потрібному положенні, виїзд потягу на маршрут дозволений; зелене мигаюче світло - запит прийнято, маршрут вільний, але привідні стрілки не переведені в потрібне положення.

Апаратура АБСС.1М забезпечує:

- 1) нормальне горіння заборонних (червоних) вогнів світлофорів за відсутності потягів на блок-ділянці і запитальних ділянках (початковий стан);
- 2) переключення нормального червоного світлофора на той, що дозволяє (зелений рівного горіння) за наявності запиту, відсутності на блок-ділянці потяги ворожого або однойменного маршруту і положенні стрілочних переведень, відповідному маршруту (завдання маршруту);
- 3) перемикання зеленого вогню світлофора на червоний після прибуття потягу на блок-ділянку;
- 4) обробка маршруту після звільнення поїздом блок-ділянки (відбій);
- 5) неможливість завдання ворожих маршрутів з моменту завдання і до обробки цього маршруту;
- 6) вибір маршруту машиністом рухомого електровоза або за допомогою місцевого кнопочкового поста;
- 7) можливість одночасного завдання і використання неворожих маршрутів;
- 8) збереження захисного стану схеми при вимиканнях і повторних вмиканнях електроенергії живлячої мережі;
- 9) автоматичне послідовне переведення стрілок в маршруті;

10) перемикання червоного вогню світлофора, що нормально горить, на умовно-дозволяючий (зелений миготливий) вогонь за наявності запиту, відсутності на блок-ділянці потягу ворожого або однойменного маршруту і положення стрілочних переведень не відповідних маршруту.

Крім того, апаратура забезпечує контроль приймання сигналу запиту при зайнятій блок-ділянці шляхом перемикання, червоного вогню рівного горіння світлофора на миготливий червоний; накопичення і завдання накопичених запрошених маршрутів з певною, заздалегідь встановленою послідовністю (перевага); можливість подачі попереджувального світлового сигналу за допомогою покажчика ССУ- 2 по зайнятості маршруту з моменту завдання до його оброблення і про знаходження потягу між датчиком запиту і світлофором; можливість відміни (зняття) заданого маршруту (до моменту спрацьовування датчика зміни) за допомогою місцевого поста управління і запиту на маршрут при зайнятій блок-ділянці; неможливість завдання маршруту при несправному датчику відбою (короткому замиканні) і неможливість оброблення маршруту датчиком відбою за наявності зеленого вогню світлофора (відсутності зміни); можливість отримання в місці установки апаратів управління візуальної інформації про стан елементів "Пам'ять запиту - зміни", "Пам'ять - маршруту"; можливість місцевого управління стрілочними переведеннями за відсутності сигналу автоматичного управління на переведення стрілок і установки одного датчика зміни або відбою для декількох маршрутів, що мають спільний шлях проходження через вказані датчики.

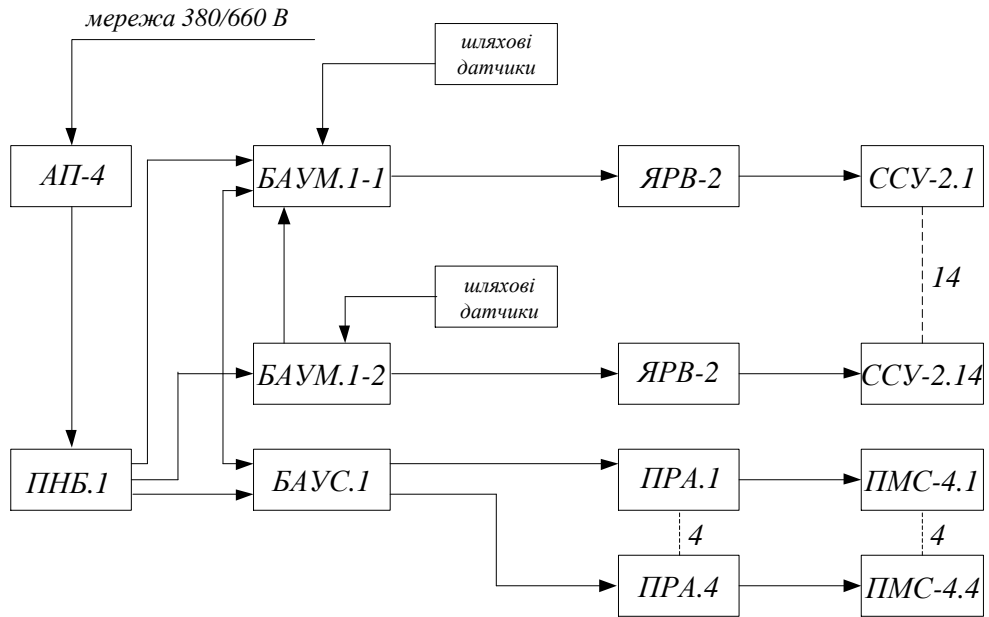


Рис. 4.3 Структурна схема апаратури АБСС.1М автоматичного блокування стрілок і сигналів.

До складу апаратури входять блоки автоматичного управління маршрутами БАУМ.1-1 і БАУМ.1-2, блок автоматичного управління стрілками БАУС.1, безконтактний перетворювач напруги ПНБ.1, пусковий агрегат АП- 4 і сім кабельних ящиків ЯРВ- 2, а також запозичені з апаратури НЭРПА-1 п'ять локомотивних передавачів сигналів ЛПС-1, по три приймачі сигналів управління НПУ-1 і НПУ-2, 15 приймачів НПУ-3, сигнальні світлові покажчики ССУ-2.1 – ССУ-2.14, моторні стрілочні приводи ПМС-4.1 – ПМС- 4.4 і рудникові пускачі ПРА.1 – ПРА.4. (Передавач ЛПС-1 на малюнку не показаний, а усі приймачі НПУ позначені як шляхові датчики).

Блоки БАУМ.1-1 і БАУМ.1-2 призначені для прийому і обробки інформації, що надходить від датчиків зв'язку з електровозів або кнопкових постів, і видачі команд управління сигнальними вогнями світлофора, а блок БАУС.1 – для прийому і обробки інформації, що надходить від блоків БАУМ.1-1, БАУМ.1-2 та видачі команд управління стрілочними приводами. Безконтактний перетворювач напруги ПНБ.1 застосовується для живлення ланцюгів блоків БАУМ і БАУС напругою 48 В постійного струму, ланцюгів

світлофорів напругою 127 В змінного струму і переривчастою напругою змінного струму ланцюгів світлофора в миготливому режимі.

Як передавач на електровозі застосований передавач сигналів ЛПС-1, а як датчики запиту використовуються приймачі сигналів НПУ-3 (при русі прямо), НПУ-2 (при русі вправо), НПУ-1 (при русі вліво). Для датчиків, зміни сигналу і відбою застосовуються приймачі НПУ- 3.

Робота апаратури АБСС.1М відбувається таким чином. При русі електровоза над приймальною антеною приймача сигналів НПУ, що являється датчиком запиту, прийнятий сигнал після обробки подається в блок БАУМ. Якщо цей або ворожий маршрут зайняті, то червоне світло світлофора зміниться на червоне миготливе. Якщо маршрут вільний, то з блоку БАУМ буде поданий сигнал управління в блок БАУС, який дає команду на переведення стрілок в маршрутї в потрібне положення. Після переведення на світлофорі спалахне зелене світло рівного горіння. Якщо ж з якої-небудь причини стрілки не переведуться в необхідне положення, то з'явиться миготливе зелене світло світлофора. При русі електровоза над антеною приймача НПУ, що слугує датчиком зміни сигналу, в блок БАУМ поступить сигнал зміни, при цьому зелене світло світлофора зміниться на червоне. При русі електровоза над антеною приймача НПУ, що служить датчиком відбою, в блок БАУМ поступить сигнал відбою, внаслідок чого схема приходить в початковий стан.

**Апаратура сигналізації і блокування КУВЭТ** призначена для автоматизованого управління сигнальними вогнями і стрілочними переведеннями на вузлах шляхового розвитку шахтного транспорту з виданням інформації диспетчерові і можливістю централізованої дії від диспетчера. Вона має три модифікації: КУВЭТ.1, КУВЭТ.2, КУВЭТ.3. Склад апаратури по модифікаціям приведений в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 Склад апаратури КУВЭТ по модифікаціям

Апаратура (1)	КУВЭТ.	КУВЭТ.	КУВЭТ.
---------------	--------	--------	--------

	1(2)	2(3)	3(4)
Апарат:			
керування сигнальними вогнями БАУСО.4	2	2	1
керування стрілковими переводами БАУСП.4	1	1	-
контролюємого вузла шляхового розвитку КПСБ.2	1	1	-
пункта диспетчера ПУСБ.2	1	-	-
Блок:			
підсилення сигналів БУСБ.2	10	9	5
сигналів контролю БКСБ.2	5	4	-
Пульт ППСБ.2	1	1	1
Передатчик сигналів ЛПС-1	3	3	3
Приймач сигналів керування:			
НПУ-1	3	3	1
НПУ-2	3	3	1
НПУ-3	18	18	10
Сигнальний світловий вказівник ССУ-2	14	12	4
Моторний стрілковий привід ПМС-4	4	4	-
Пускач ПРА	4	4	-
Контактне реле РКИ-70	2	1	1

З аналізу даних таблиці виходить, що найбільш повно функціональні можливості апаратури КУВЭТ відповідно до її призначення реалізовані в модифікації КУВЭТ.1. Апаратура КУВЭТ.2 здійснює тільки управління сигнальними вогнями і стрілочними переведеннями, а КУВЭТ.3 – управління сигнальними вогнями.

На блок-ділянці вісім маршрутів, керуємих апаратурою КУВЭТ.1 і КУВЭТ.2, чотири – апаратурою КУВЭТ.3, і чотири автоматично керованих стрілочних переведення. Швидкість руху потягу не повинна перевищувати 25 км/год.

Структурна схема апаратури КУВЭТ приведена на рис. 4.4.

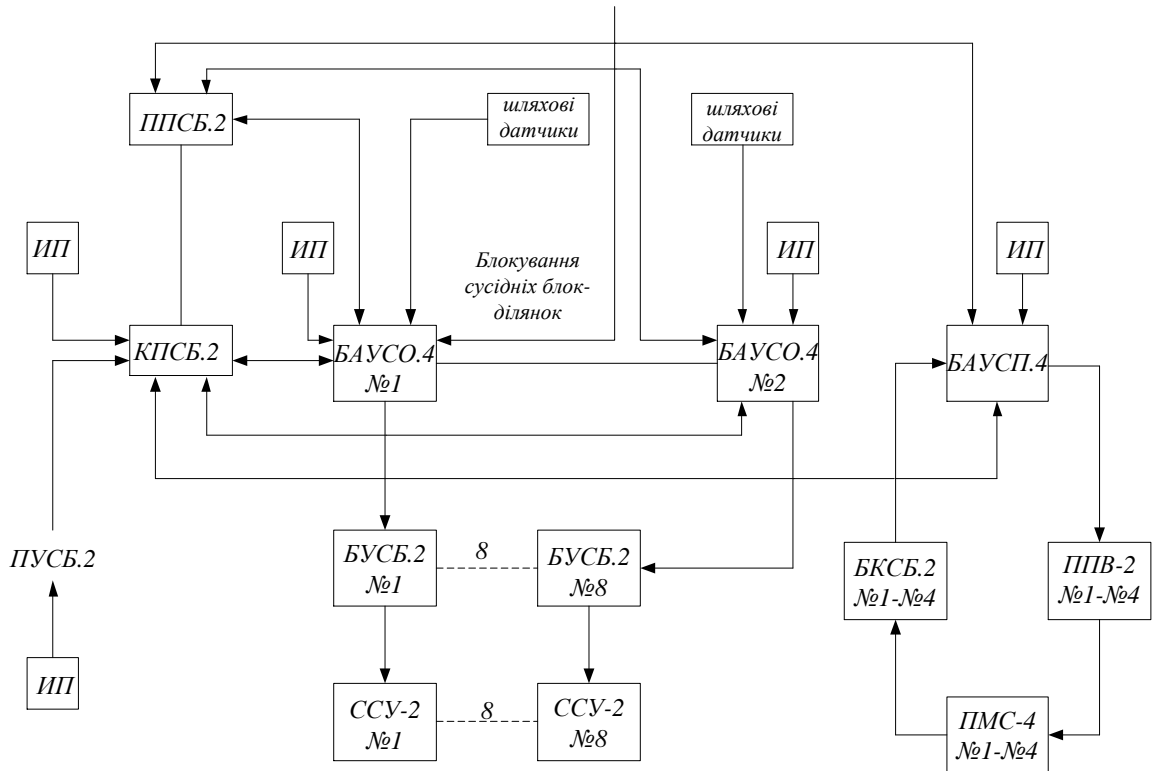


Рисунок 4.4 Структурна схема сигналізації і блокування КУВЭТ.

Апарат ПУСБ.2 пункту диспетчера призначений для прийому і відображення інформації, що поступає від апаратів управління через апарат КПСБ.2, і передачі команд дії від диспетчера. Відображення інформації здійснюється за допомогою світлодіодів, розташованих на передніх дверях апаратури ПУСБ.2. Тут же розташовані органи управління (кнопки, тумблери). Пульст ППСБ.2 призначений для розміщення органів управління і індикації, що служать для перевірки функціонування апаратури КУВЭТ, а також для підключення кабелів зв'язку з іншими апаратами.

За допомогою апарату контрольованого вузла шляхового розвитку КПСБ.2 вирішується завдання передачі отримуваної від апаратів управління повідомної інформації диспетчерові і отримання від диспетчера розпорядливої інформації (команд впливу), а також передача, цієї інформації для виконання на апарати управління БАУСО.4 і БАУСП.4

Апарат БАУСО.4 призначений для прийому і обробки інформації і видачі команд управління сигнальними вогнями на блок-ділянці, за допомогою яких здійснюється регулювання руху електровозів. Для прийому

інформації і управління стрілочними переведеннями призначений апарат БАУСП.4. Зовнішні з'єднання між апаратами БАУСО.4, БАУСП.4, КПСБ.2, ППСБ.2 здійснюються між апаратними кабельними з'єднаннями із роз'ємами.

Блок БУСБ.2 є комутаційним тиристорним підсилювачем і призначений для вмикання ламп світлофорів, ламп попереджувальної сигналізації "Бережися електровоза" і гудків, а блок БКСБ.2 – для узгодження сигналів контролю положення стрілочних переключів з входом апарату БАУСП.4. Кінцевий вимикач, вбудований в привід ПМС-4, комутує напругу 127 В, яка перетворюється в стабілізовану іскробезпечну напругу 5,6 В постійного струму. Шляхові датчики використовуються для отримання інформації диспетчером про ситуацію на шляхових вузлах, в якості датчиків запиту – приймачі НПУ-1 (вліво) і НПУ-2 (вправо), а як датчики зміни сигналу і відбою – приймачі НПУ-3. Прийом сигналів зміни і відбою відбувається автоматично. Приймачі сигналів НПУ запозичені з апаратури НЭРПА- 1, а на малюнку позначені як шляхові датчики.

Для місцевих кнопкових постів, дублюючих датчики запиту і зняття маршрутів, використовуються пости типу КУВ-2. Для контролю зайнятості ділянок шляху і роботи шахтної установки застосовується реле РКІ-70, для контролю положення стлілкового переведення - кінцевий вимикач, розташований в корпусі приводу ПМС-4. Уся апаратура отримує живлення від агрегату АП-4 (на схемі не показаний). Місцеве управління ним здійснюється кнопковими постами типу КУВ-3. Через один контактор агрегату живляться іскробезпечні блоки живлення апаратів БАУСО.4 і БАУСП.4. Другим контактором подається напруга на виконавчі пристрої (окрім сигнальної лампи і сигналізатора "Бережися електровоза"). Останні, а також блоки живлення апарату контрольованого вузла КПСБ-2 отримують живлення з клем апарату АП-4, призначених для мережі місцевого освітлення.

Апаратура КУВЭТ забезпечує виконання не лише усіх функцій, що відносяться до АБСС.1, але і додаткових (стосовно модифікації КУВЭТ. 1) –

можливість отримання на диспетчерському пункті інформації про справний стан апаратів контрольованих вузлів путнього розвитку і лінії зв'язку, а також інформацію по маршрутах у вигляді світлових сигналів і здійснення оперативної дії по черзі по кожному з контрольованих вузлів путнього розвитку.

Апаратура КУВЭТ порівняно з АБСС.1М додатково забезпечує можливість встановлення блокувальної залежності з маршрутами іншого вузла шляхового розвитку або з роботою інших шахтних пристроїв; приведення схеми апаратів управління сигнальними вогнями в початковий стан за допомогою кнопки, розміщеної в цьому апараті, або з диспетчерського пункту; отримання на диспетчерському пункті інформації про справний стан апаратів контрольованих пунктів і про зайнятість блок-ділянки, стані червоних і зелених вогнів світлофорів відповідності положення стрілкових переведень заданому маршруту, стані елементів пам'яті (маршруту, запиту, зміни), відсутності напруги живлення апаратів управління, виконавчих пристроїв і шляхових датчиків, спрацьовування елементів захисту апаратів управління. Апаратура також забезпечує можливість подачі з диспетчерського пункту по черзі на кожен блок-ділянку команд заборони завдання усіх маршрутів одночасно, завдання маршрутів (у тому числі маневрового), зняття (відміни) маршрутів (у тому числі маневрового), зняття (відміни) запитів маршрутів, штучного оброблення маршрутів, включення напруги живлення апаратів управління, виключення напруги живлення виконавчих пристроїв і шляхових датчиків; перевірки з диспетчерського пункту правильності функціонування апаратів управління (у тому числі елементів захисту), перевірки правильності функціонування апарату управління сигнальними вогнями в місці його установки; контролю стану схеми апаратів управління сигнальними вогнями, і місці його установки.

По кожному з восьми маршрутів можуть бути, крім того, передані такі команди: запит маршруту, зміна сигналів світлофора, оброблення маршруту, відміна невживаного маршруту, заборона завдання маршруту.

Апарати управління працюють наступним чином. Апарат управління сигнальними вогнями БАУСО.4 виконує циклічне опитування керованих маршрутів. Тривалість циклу опитування 4 мс. В кожному циклі міститься вісім тактів опитування (по числу керованих маршрутів). Протягом одного такту тривалістю 0,5 мс виконуються усі логічні операції, пов'язані з цим маршрутом. Після кожного циклу опитування в апарат БАУСП.4 надходить сигнал і останній виконує циклічне опитування стрілок. У кожному циклі міститься вісім тактів опитування стрілок (по числу положень стрілок). Протягом такту тривалістю 4 мс здійснюються усі операції по управлінню, і контролю однією стрілкою в кожному положенні (праве, ліве). Цикл опитування стрілок складає 32 мс.

З апарату БАУСО.4 маршрутів №1-№4 (рис. 4.4.1) в апарати БАУСО.4 маршрутів №5-№8 і навпаки надходять сигнали ворожості (блокування) і сигнали переваги. З цього апарату в апарат БАУСП.4 по двох каналах надходять сигнали на переведення стрілок в маршрутах №1-№4 для формування сигналу блокування місцевих кнопкових постів управління стрілковими приводами.

Вихідні сигнали апаратів управління надходять на блоки підсилення сигналів БУСБ.2 ввімкнення ламп світлофорів маршрутів №1-№8, ламп попереджувальної сигналізації знаходження потяга на запитуваних ділянках, лампи і гудка "Бережися електровоза" лампи "Перевірка". З апарату БАУСП.4 через підсилювач БУСБ.2 на пускачі ППВ-2, керівники приводом стрілок ПМС- 4 надходять сигнали управління. Від датчика положення стрілки з приводу ПМС-4 через погоджувальний блок БКСБ.2 сигнал надходить в апарат БАУСП.4.

При русі електровоза, керованого машиністом, по певному маршруту апарат КУВЭТ працює таким чином. У момент проходження електровоза над

датчиком запиту в апарат БАУСО.4 надходить сигнал запиту. Якщо маршрут вільний, то з БАУСО.4 подаються сигнали на відключення червоного світлофора в БАУСП.4, який дає команду на переведення стрілок. Після переведення стрілок на світлофорі спалахне зелене світло рівного горіння, що дозволяє рух потяга по маршруту.

Якщо ж стрілки не переключатимуть в потрібне положення, то спалахне умовно-дозволяюче мигаюче зелене світло світлофора. Виїзд складу на маршрут в цьому випадку дозволяється, проте машиніст повинен визначити, яка стрілка (чи стрілки) не перевелася в необхідне положення, і, зупинивши склад, перевести її за допомогою кнопочового поста місцевого управління або ключем вручну.

**Пристрій формування інформації УФИ** призначений для збору, формування і передачі інформації про проходження вагонеток в чотирьох точках контролю (з урахуванням напрямку їх руху) в підсистему, наприклад АСТРА, для обліку, контролю і аналізу роботи внутрішньошахтного транспорту з вікаткою електровоза на вугільних шахтах, небезпечних по газу або пилу.

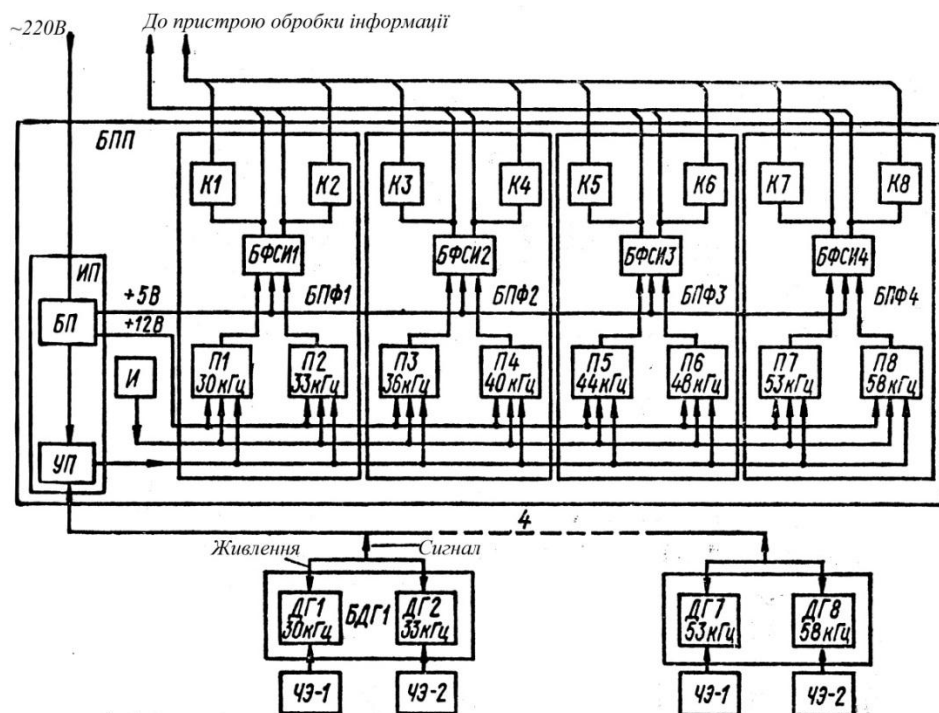


Рисунок 4.5 Структурна схема пристрою формування інформації УФИ.

### Технічна характеристика пристрою УФИ

Номинальна напруга живлення частотою 50 Гц, <i>B</i>	220
Потужність, що споживається (не більш), <i>ВА</i>	60
Контролюєма швидкість руху вагонеток, <i>км/год</i>	50
Кількість	
точок контролю	4
вихідних каналів	2
Маса, <i>кг</i>	
блока БПП	20
блока БДГ	10
елементу ЧЭ-1 (ЧЭ-2) без з'єднувального кабеля	1

Пристрій складається з наступних частин (рис.4.5): блоку живлення і приймачів БПП, що встановлюється в диспетчерській на поверхні шахти поза вибухонебезпечними приміщеннями і призначеного для прийому, формування і видачі інформації про проходження вагонеток через точки контролю, а також живлення підземних блоків пристрою; блоків датчиків-генераторів БДГ1 – БДГ4, що встановлюються в підземних точках контролю і призначенні для збору і передачі до блоку БПП інформації про переміщення вагонеток; восьми чутливих елементів ЧЭ-1 і ЧЭ-2, встановлюваних попарно в точках контролю біля блоків БДГ1 – БДГ4, призначених для спільного збору інформації про переміщення вагонеток.

Інформація про проходження вагонеток через точки контролю передається по вільній парі жил телефонного кабелю. Пристрій УФИ може бути використаний для телеконтроля стану восьми об'єктів ("Включено" - "Відключено").

Блок БПП сполучений з блоками БДГ двухпровідною лінією зв'язку, в якості якої використовується вільна пара жил телефонного кабелю. По цій лінії, здійснюється живлення блоків БДГ напругою 34 В постійного струму, а також надходять сигнали від блоків БДГ до блоку БПП про проходження вагонеток (з урахуванням напрямку) в точках контролю, тобто точках

рейкового шляху, де встановлені блоки БДГ з чутливими елементами ЧЭ-1 і ЧЭ-2.

Можливість одночасної передачі восьми сигналів від блоків БДГ до блоку БПП отримана завдяки частотному способу розподілу цих сигналів. Кожен з сигналів передається на своїй частоті: 30, 33, 36, 40, 44, 48, 53 і 58 кГц. Під головкою рейка попарно встановлюються елементи ЧЭ-1 і ЧЭ-2, а поблизу них на стінці виробітки – один з блоків БДГ, до якого під'єднуються чутливі елементи і лінія зв'язку. У блоках БДГ попарно розміщені датчики-генератори ДГ, налаштовані на різні інформаційні частоти (від 30 до 58 кГц).

Датчик-генератор ДР являє собою передавач, що генерує інформаційну частоту і лінію зв'язку. Чутливий елемент зриває генерацію інформаційної частоти датчиком-генератором при наїзді на нього колеса вагонетки. Блок БПП обробляє і формує сигнали, що надходять на нього, від датчиків-генераторів і одночасно живить блоки БДГ.

Блок БПП складається (рис. 4.5.1) з джерела живлення ИП, прийомоформувальних блоків БПФ1 – БПФ4 і імітатора И проходження вагонеток. Джерело живлення ИП містить блок живлення БП і пристрій приєднання УП. Приймочувальні блоки БПФ1 – БПФ4 містять приймачі П1 – П8, налаштовані на частоти відповідних датчиків-генераторів ДГ1 – ДГ8, блоки формування рахункових імпульсів БФСІ1 – БФСІ4 і безконтактні ключі. Сигнали з датчиків-генераторів ДГ1 – ДГ8 надходять на пристрій приєднання УП, а потім – на входи приймачів П1-П8 через полосові фільтри, встановлені на входах цих приймачів.

У тому випадку, коли вагонетки проходять точку контролю, залежно від напрямку руху колесо вагонетки прокочує по черзі над елементами ЧЭ-1, ЧЭ-2 або ЧЭ-2, ЧЭ-1. Останні встановлені таким чином, що зони їх спрацювання перекриваються.

З датчиків-генераторів ДГ1 і ДГ2 в лінію зв'язку подаються сигнали, що повторюють сигнали зони спрацювання елементів ЧЭ-1 і ЧЭ-2. Ці сигнали через пристрій УП блоку БПП надходять на входи приймачів П1 і П2, а з

виходів приймачів – на вхід блоку БФСІ1, який виконує перерахунок кількості осей в число вагонеток і визначає напрями руху вагонеток по черговості спрацювання ДГ1 і ДГ2. Блоки БФСІ1–БФСІ4 мають два вихідних каналу. З першого каналу сигнал видається у формі імпульсів (один імпульс на вагонетку), з другого каналу – у формі замикання безконтактного ключа. Кожен канал має два виходи. Сигнал про проходження вагонетки в залежності від напрямку її руху з'являється на одному з виходів обох каналів одночасно.

Для обробки і оперативного візуального представлення диспетчерові отриманої на виході пристрою УФІ інформації про проходження вагонеток в точках контролю, наприклад на вантажних і розвантажувальних пунктах, використовують індикатор.

## **4.2 СИСТЕМА КОНТРОЛЮ БЕЗПЕКИ І ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОВОЗА**

Згідно з правилами техніки безпеки машиніст електровоза зобов'язаний виконати наступні інструкції:

Забороняється робота електровоза при:  
знятій кришці батарейного ящика акумулятора;  
фарах, що не світяться;  
несправності сигнальних пристроїв.

Забороняється машиністу стояти або знаходитися зовні кабіни електровоза під час руху. При відсутності машиніста повинні бути вимкнені двигуни і система управління. При цьому фари повинні залишатися включеними. Для збільшення продуктивності праці машиніст повинен вести потяг орієнтуючись на сигнали системи керування. Він повинен контролювати швидкість руху, струм розряду батарей, газовий склад і т.д.

Така система була розроблена Конотопським заводом «Червоний металіст», проте на жаль не отримала розповсюдження. В магістерській

дисертації запропонована мікропроцесорна система контролю параметрів електровоза, яка наведена на рис. 4.6.

До її складу входять:

Мікроконтролер PIC16C77A.

Датчики закриття дверей Д1, Д2.

Датчик кодового замка Д5.

Датчик контролю кришки батареї.

Датчик контролю включення фар.

Датчики струму і напруги.

Рідкокристалічний дисплей з підсвічуванням, на якому висвічуються дані про швидкість руху і струм розряду батарей і напруги на батареях (2x20 символів).

Перетворювач ДС ЕС - конвертер постійної напруги стабілізатора СНТ-2 з вихідною напругою 24В в напругу 5 В.

Ініціалізація мікроконтролера при включенні живлення здійснюється зовнішнім сигналом по входу CLR. Після запуску мікроконтролер виконує програму початкової установки, при цьому здійснюється програмування введення/виведення, ініціалізація модулів А/Д і ТМРО.

Контакти порту AN0...AN2 конфігуруються, як аналогові входи для контролю напруги параметрів мережі і датчиків струму двигунів і включення фар електровоза.

Контакти RB0...RB3 конфігуруються як виходи для рядка індикації ШКН а RB4...RB7 – як виходи для комутації анодів індикації.

Контакти порту з LC2...RC5 конфігуруються як дискретні виходи кодового замка, а контакти порту Д RD0...RD3 – як входи датчиків вимикачів дверей, датчика контролю знаходження машиніста в кабіні (тензодатчик під сидінням машиніста).

Контакт порту з RC7 конфігурується як вихід на виключення автомата ВПВ-41241У5.

Живлення мікроконтролера здійснюється від перетворювача електровоза за допомогою перетворювача напруги (ДС-ДС конвертера) на мікросхемі UC3842 і моста на транзисторі IRF 630.

Блок-схема алгоритму програми представлена на рис 4.7.

Для того, щоб почати рух, машиніст повинен вставити ключ в кодовий замок, закрити двері кабіни електровоза і зайняти місце на сидінні електровоза, після чого система подасть сигнал про готовність подачі напруги на двигуни. Подавши напругу на двигуни, машиніст здійснить пуск і контролює швидкість руху потягу, струм протікаючий через двигуни електровоза і напругу на тягових батареях. Якщо яка-небудь умова алгоритму не буде дотримана, після подачі попереджувального сигналу за допомогою вимикача ВПВ-41241У5 напруга буде знята з двигуна.

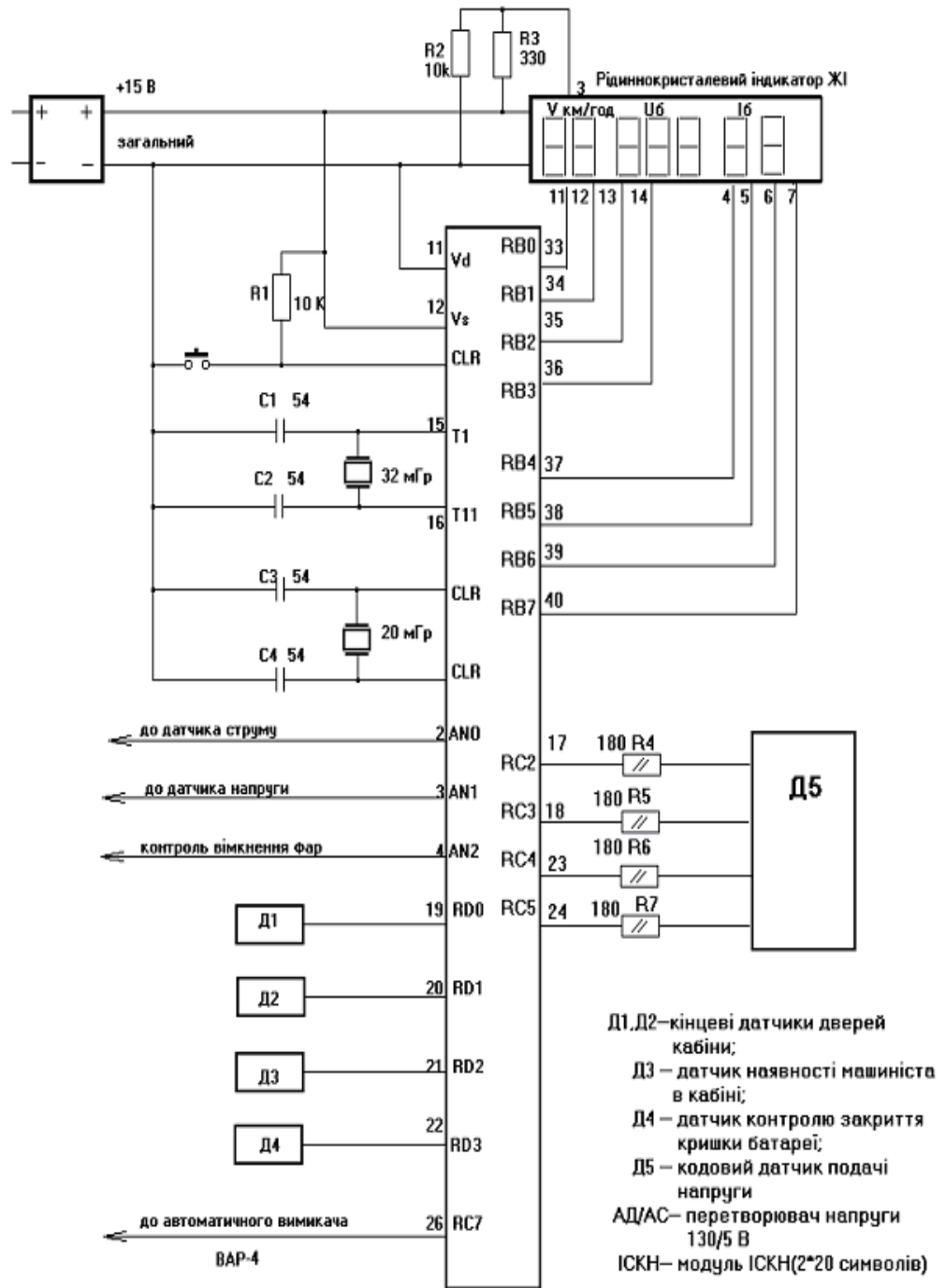


Рис 4.6 Схема контролю параметрів електровоза АМ-8Д.

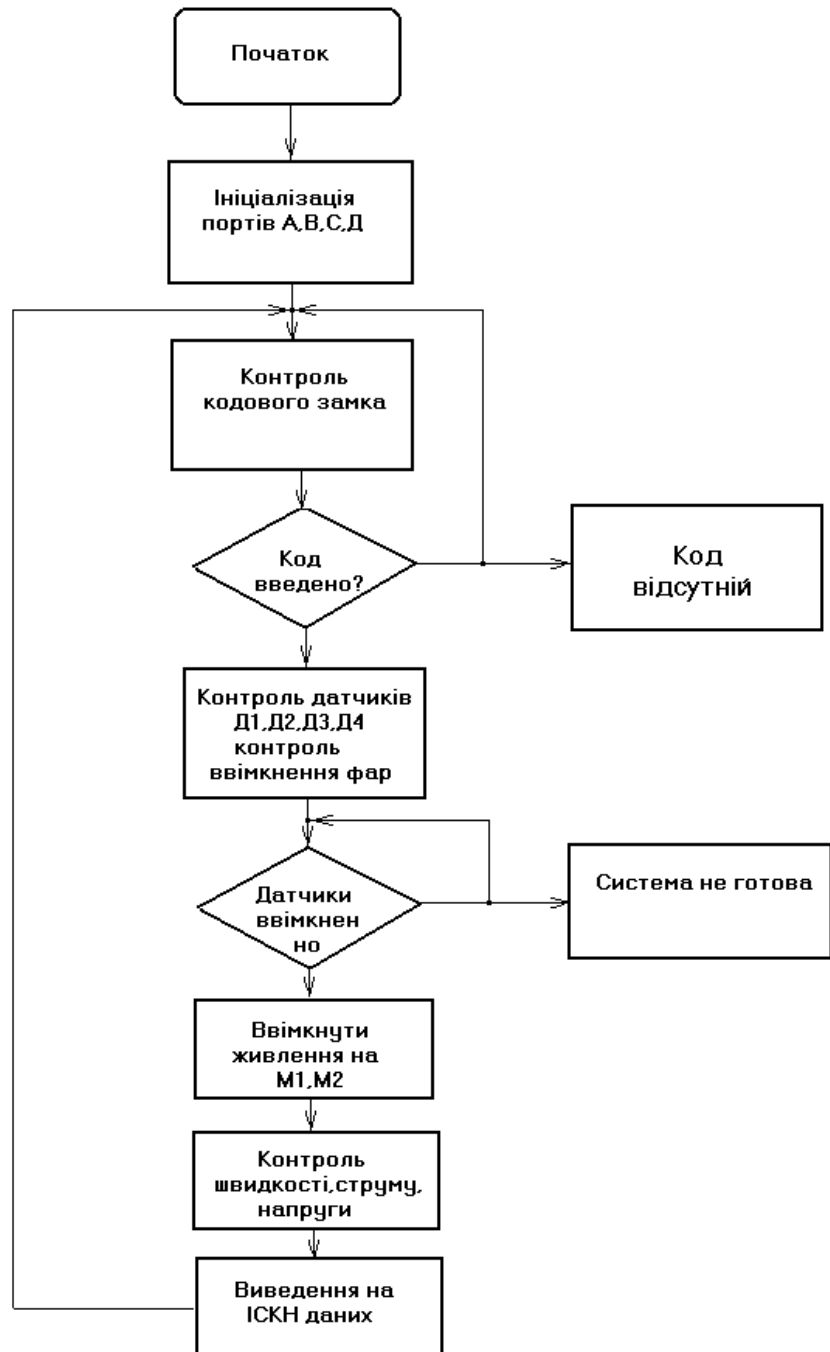


Рис. 4.7 Блок схема алгоритму роботи системи контролю.

## РОЗДІЛ 5 СТАРТАП-ПРОЕКТ ЗАСТОСУВАННЯ ІОНІСТОРА (СУПЕРКОНДЕНСАТОРА) ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ШАХТНОГО АКУМУЛЯТОРНОГО ЕЛЕКТРОАВОЗА В СТАРТ-СТОПНИХ РЕЖИМАХ

### 5.1 Цілі та етапи реалізації стартап-проекту

Розглянемо обґрунтування цілей даного стартап-проекту відносно його етапів, які занесені до таблиці 5.1.

Таблиця 5. 1 Цілі основних етапів реалізації стартап-проекту

Етапи реалізації стартап-проекту	Цілі етапів реалізації стартап-проекту
Початковий етап стартап-проекту	Дослідження потрібних характеристик та суперечностей, технологічних недосконалостей діючих продуктів-аналогів конкурентного середовища
Етап обґрунтування актуальності та новизни інноваційної ідеї	Подолання певних суперечностей поточних виробників та досягнення кращих показників температури навколишнього середовища
Етап аналізу конкурентного середовища	Виявлення можливих конкурентів-виробників, які виготовляють схожі системи живлення або пропонують схожу продукцію та здійснення порівняльного аналізу техніко-економічних переваг та недоліків реалізації пропонуваної ідеї
Етап фінансового забезпечення реалізації проекту	Обґрунтування собівартості та ціни впровадження суперконденсаторів
Маркетинговий етап реалізації проекту	Обґрунтування каналів збуту системи комбінованої живлення, залучення потенційних покупців, формування фінальних аргументів переконання

### 5.2 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту

Ідеєю даного стартап-проекту є включення суперконденсатора паралельно акумуляторній батареї в систему живлення шахтного акумуляторного електроавоза типу АМ8Д для заряду суперконденсатора в гальмівних режимах і використання накопиченої енергії в старт- стопних режимах для маневрування у приствольному дворі..

Перевагами даної системи живлення є:

- енергія гальмування не розсіюється у вигляді тепла на гальмівних резисторах а накопичується в конденсаторі і зберігається для використання в маневрових операціях в приствольному дворі;

- з'являється можливість використовувати акумуляторну батарею електровоза на 10-20 відсотків часу довше;

- робота в старт - стопних режимах при маневруванні з використанням енергії, яка накопичується в суперконденсаторі дозволяє продовжити термін життєвого циклу батареї до 30 % .

Таблиця 5.2 Актуальність та новизна ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги та вигоди споживача
Застосування іоністора (суперконденсатора) в системах живлення шахтного електротранспорту гірничовидобувних підприємств	Шахтні акумуляторні електровози	Старт- стопні режими не призводять до значних втрат енергії (використовується енергія гальмування)
	Шахтні комбіновані (контактні- супер-конденсаторні) електровози	Економія коштів за рахунок зменшення витрат на акумуляторні батареї
	і шахтні пристрої де потрібне зберігання енергії	Подовження життєвого циклу батареї

### 5.3 Аналіз конкурентного середовища

На сьогоднішній день існує велика кількість виробників електронних компонентів, зокрема іоністорів (суперконденсаторів): Epcos (Німеччина), Yunasko, *VINATech*. Maxwell (США), Matsuchita Electric Industrial (Японія), SAFT (Франція), YUNASKO (Україна), NessCap (Южна Корея). У всіх цих виробників є схожі за призначенням але різні за характеристиками іоністори (суперконденсатори) Основними вимогами до суперконденсаторів є: напруга яку підтримує конденсатор; ємність , готові батареї для роботи в блоках з напругою до 60В; габарити.

Тому для детальнішого розуміння різниці між вибраними для впровадження суперкоденсаторами та аналогічними системами конкурентів

складемо порівняльну таблицю техніко-економічних характеристик (таблиця 5. 3). Перевагу віддамо вітчизняному виробнику YUNASKO (Україна),

**Таблиця 5.3 Переваги продукту**

№ п/п	Техніко-економічні характеристики	Стартап-проект YUNASKO (Україна),	Epcos	Maxwell
1.	Модель	EDLC Product: 16V / 500F Module	B49300-L	BMOD050 0 P016 B01
2.	Напруга В	2,7	3,5	3
3.	Номінальна ємність Ф	500	3000	500
4.	Струм А	300	400	400
5.	Енергія запасу Дж	5700	7412	6000
6.	Вологість навколишнього середовища	95% r.h., ,без конденсації	85% r.h., ,без конденсації	80% r.h., ,без конденсації
7.	Підключення	Двопровідне	Двопровідне	Двопровідне
8.	Ступінь захисту ІЕС/EN	IP65	IP64	IP55
9.	Цикл роботи	100000	150000	120000
10.	Ціна грн	21000	36000	25000

Як видно з вище наведених характеристик, як з технічної сторони так і з економічної український суперконденсатор має переваги над моделями конкурентів.

Водночас, в ході реалізації стартап-проекту здійснимо SWOT-аналіз потенційних загроз та можливостей реалізації стартап-проекту, визначивши сильні та слабкі сторони, а також його можливості та загрози [5].

Адже ринок щосекунди росте і розвивається, відповідно з'являються нові конкуренти, нові загрози але також з'являються і нові можливості. Тому дуже важливо знати та правильно керувати своїми слабкими та сильними сторонами щоб бути конкурентноспроможним на ринку.

До потенційно внутрішніх переваг (сильні сторони) можна віднести:

- унікальність;
- іноваційність;
- жорсткий конкурент на ринку;
- особлива стратегія наступу;
- сприяння зростанню чисельності цільових груп споживачів;
- вища за середню обізнаність про стан ринку;
- концентрація на швидко зростаючих сегментах ринку;
- увага до зниження витрат;
- вищі за середні маркетингові навички;
- компетентність у даній сфері;

До потенційно внутрішніх недоліків (слабкі сторони) можна віднести:

- відсутність досконалих знань з організаційно-правових форм організації бізнесу;
- постійні атаки з боку ключових конкурентів;
- нижчі за середні темпи зростання;
- брак фінансових ресурсів;
- розміри виробництва та застосування надто малі, щоб впливати на ринкову ситуацію;

До потенційних зовнішніх можливостей можна віднести:

- різкий розвиток економіки країни на сьогоднішній день;
- доступність інвестицій та кредитів;
- обслуговування додаткових груп споживачів, а саме приватних підприємців;
- входження в нові ринки;
- розширення виробництва для задоволення потреб споживачів;

- зовнішні мережні структури;

До потенційних зовнішніх загроз відносяться:

- велика ймовірність виникнення нових конкурентів, зокрема іноземних;
- зростання збуту товарів-замінників;
- зростання тиску конкурентів;

Результати SWOT-аналізу даного стартап-проекту узагальним у відповідній матриці (таблиця 5. 5).

**Таблиця 5. 5 Матриця SWOT-аналізу**

S (strength) – Сильні сторони	W (weaknesses) – Слабкі сторони
1. Унікальність. 2. Інноваційність. 3. Жорсткий конкурент на ринку. 4. Особлива стратегія наступу. 5. Сприяння зростанню чисельності цільових груп споживачів. 6. Вища за середню обізнаність про стан ринку. 7. Концентрація на швидко зростаючих сегментах ринку. 8. Увага до зниження витрат. 9. Вищі за середні маркетингові навички. 10. Компетентність у даній сфері.	1. Відсутність досконалих знань з організаційно-правових форм організації бізнесу. 2. Постійні атаки з боку ключових конкурентів. 3. Нижчі за середні темпи зростання; 4. Брак фінансових ресурсів. 5. Розміри виробництва та застосування надто малі, щоб впливати на ринкову ситуацію.
O (opportunities) – Можливості	T (threats) – Загрози

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Різкий розвиток економіки країни на сьогоднішній день.</li> <li>2. Доступність інвестицій та кредитів.</li> <li>3. Обслуговування додаткових груп споживачів, а саме приватних підприємців.</li> <li>4. Входження в нові ринки.</li> <li>5. Розширення виробництва для задоволення потреб споживачів.</li> <li>6. Зовнішні мережні структури.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Велика ймовірність виникнення нових конкурентів, зокрема іноземних.</li> <li>2. Зростання збуту товарів-замінників.</li> <li>3. Зростання тиску конкурентів.</li> </ol>
--	---

#### **5.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту**

Стартап-проект розраховується на продаж суперконденсаторів EDLC Product: 16V / 500F для шахтних електровозів в кількості 120 шт. на рік. Даний проект має дві статті капіталовкладень: прямі матеріальні затрати та інші прямі витрати.

До прямих матеріальних затрат входять:

- витрати сировини й матеріалів за винятком повернених відходів;
- витрати комплектуючих виробів;
- оплата заводу.

До інших прямих витрат входять:

- витрати на рекламу, оренду;
- прямі інші витрати.

Загальна сума капіталовкладень для реалізації даного стартап-проекту складає 117 256 тис. грн. Всі детальні суми затрат на кожну статтю наведені у таблиці 5. 6.

#### **Таблиця 5.6 Обґрунтування капіталовкладень на реалізацію проекту**

<b>Статті капіталовкладень</b>	<b>Величина, тис. грн.</b>
<b>Прямі матеріальні затрати</b>	
– витрати сировини й матеріалів за винятком повернених відходів	26500
– витрати комплектуючих виробів	52500
– оплата заводу	37500
<b>Інші прямі витрати:</b>	
- витрати на рекламу, оренду	156
- прямі інші витрати	600
<b>Всього капіталовкладень на реалізацію проекту</b>	<b>117256</b>

### 5. 5 Ключові види діяльності та партнери

Мета даного проекту досягається за допомогою двох видів діяльності, а саме реалізації та виробництва (таблиця 5.7). Оплативши всі потрібні затрати на сировину та комплектуючі ми передаємо замовлення на завод «КОНЦЕРН-ЕЛЕКТРОН», який являється нашим партнером для процесу виготовлення датчика ATF2020 відповідно стандартам ISO 9001.

**Таблиця 5.7 Ключові види діяльності**

Назва діяльності	Опис діяльності	Результат діяльності
Виробництво	Виготовлення суперконденсаторних батарей та комплектуючих матеріалів.	Суперконденсаторна батарея на 200В
Реалізація	Впровадження суперконденсаторних батарей на 200В, 500Ф	Продаж батарей замовнику

Після закінчення процесу виготовлення, продукт відвантажують на склад, який ми орендуємо. Далі займаємося реалізацією продукту за допомогою реклами.

Ключовим партнером являється завод «КОНЦЕРН-ЕЛЕКТРОН», який виробляє з наших матеріалів та комплектуючих елементів кінцевий продукт. Сировинний матеріал та комплектуючі елементи закупаємо у компанії “YUNASKO (Україна)”. Додаткова інформація про партнерів наведена у таблиці 5. 8.

**Таблиця 5.8 Ключові партнери**

Інформація	«КОНЦЕРН-ЕЛЕКТРОН»	“DIYLAB”
Повна офіційна назва організації-партнера	Приватне акціонерне товариство «КОНЦЕРН-ЕЛЕКТРОН»	YUNASKO-UKRAINE LLC
Місце розташування, адреса	вул. Стороженка, 32, м. Львів, 79018, Україна	вул. Януша Корчака, 12 , оф. 310, м. Київ, 03190
Юридичний статус	Юридична особа	Юридична особа
Контактна особа	Менеджер	Менеджер
Телефон	+ 38-032-239-55-86	+442036087527
Адреса електронної пошти	<a href="mailto:info@electron.ua">info@electron.ua</a>	<a href="mailto:info@yunasko.com">info@yunasko.com</a>
Роль та залученість до підготовки цього проекту	Виробництво	Постачання
Завдання, які покладаються на організацію партнера в реалізації проекту	Виробництво готового продукту з закупленої сировини та комплектуючих	Постачання сировини та комплектуючих виробів

### 5.6 Прямі матеріальні витрати

Прямі матеріальні витрати розраховуємо з урахуванням щоденної потреби суперконденсаторів у кількості 10 шт.

Обрахунок місячних потреб на витрати розраховуємо по формулі:

$$V = X * Y * N_m,$$

де X-ціна за одиницю ресурсу,

Y – кількість ресурсу,

$N_m$ - кількість робочих днів у місяці (22 дня).

Обрахунок річних потреб на витрати розраховуємо по формулі:

$$V_r = X * Y * N_r,$$

де X-ціна за одиницю ресурсу,

Y – кількість ресурсу,

$N_r$  - кількість робочих днів у році (250 днів).

Всі відповідні розрахунки заносимо до таблиці 5.9.

**Таблиця 5. 9 Прямі матеріальні витрати**

п/п	Назва ресурсу	Одиниця вимір.	Ціна	Кількість ресурсу	Потреба на місяць	Потреба на рік
1	Витрати сировини й матеріалів	Тис.грн.	10,5	10	231	26 500
2	Витрати на комплектуючі вироби	Тис.грн.	21,0	10	4620	52 500
3	Оплата заводу	Тис.грн.	15	10	3300	37 500
<b>Всього:</b>					<b>8 151</b>	<b>116 500</b>

### 5.7 Інші прямі витрати

До інших прямих витрат відносяться :

- реклама (3000 грн);
- оренда складу під готову продукцію (10000 грн);
- резервні кошти на форс-мажорні обставини (50000 грн).

Так як вартість послуг фіксована і незмінна на протязі терміну дії угоди (1 рік), річні витрати вираховуємо перемноживши вартість послуг на кількість місяців (12 місяців). Результати обрахунків заносимо до таблиці 10.

**Таблиця 5.10. Обґрунтування прямих інших витрат**

Види послуг	Джерело даних	Вартість послуг, грн.	
		на місяць	на рік
1. Реклама	Угода	3 000	36 000
2. Оренда складу	Угода	10000	120000
3. Інші прямі витрати	Резервні	50000	600000
<b>Всього:</b>		<b>63000</b>	<b>756000</b>

**5.8 Розрахунок собівартості та рентабельності товару**

Так як співпадають умовно-змінні та умовно-постійні витрати з прямими матеріальними витратами та іншими прямими витратами складаємо собівартість товару ( таблиця 5.11).

**Таблиця 5.11 Обґрунтування собівартості товару , грн.**

Статті витрат	Джерела даних	Витрати, тис.грн		
		на одиницю	на місяць	на рік
1. Умовно-змінні витрати	табл.5. 9	46,5	8 151	116 500
2. Умовно-постійні (накладні) витрати	табл.5.1 0	6,3	63	756
3. Собівартість	стр.1+стр.2	<b>52,8</b>	<b>8 214</b>	<b>117 256</b>

Необхідний прибуток – це сума витрат на ФРВ, ФСР, ПФ, грошові виплати засновнику та податок на прибуток.

Прибуток у відсотковому відношенні розподілено наступним чином:

- фонд розвитку виробництва (ФРВ) – 50%;
- фонд соціального розвитку (ФСР) – 25%;
- преміальний фонд (ПФ) – 10%;
- дивіденди засновникам – 15%.

Всі обґрунтування відносно рентабельності занесені до таблиці 12.

**Таблиця 5.12 Обґрунтування рівня рентабельності товару**

Статті витрат	Джерело даних	Од. вимір.	Значення показників.
---------------	---------------	------------	----------------------

1. Собівартість одиниці продукції	табл. 5.11	тис.грн.	52,8
Обсяг виробництва в рік	Прогноз	шт.	120
2. Необхідний прибуток	п.2,1+2,2+2,3+2,4+2,5	тис.грн	109986
2.1. Засоби ФРВ	Колективна угода	тис.грн	54993
2.2. Засоби ФСР	Колективна угода	тис.грн	27496,5
2.3. Засоби ПФ	Колективна угода	тис.грн	10998,6
2.4. Грошові виплати засновнику	Колективна угода	тис.грн	16497,9
2.5. Податок на прибуток	$(2.1+2.2+2.3+2.4)*0.18$	тис.грн	19797,48
3. Рівень рентабельності продукції	$\frac{\text{п.2}}{\text{п.1}} * 100\%$	%	<b>28%</b>

Відносно норми рентабельності та собівартості одиниці продукту розраховується «нормальний» питомий прибуток, який в сумі з собівартістю дає вартість виробництва одиниці продукції за формулою вказаною в таблиці 13[7].

Відпускна ціна товару являється сумою вартість виробництва одиниці продукції та ПДВ відносно цієї суми.

**Таблиця 5.13 Обґрунтування вартості та ціни**

Статті витрат	Джерело даних	Одиниці вимірювання	Значення показників
1. Собівартість одиниці товару	табл. 11	тис.грн.	52,8
2. Норма рентабельності	табл. 12	%	28
3. «Нормальний» питомий прибуток	$\frac{\text{п.1}}{\text{п.2}} * 100\%$	грн.	1978

4. Вартість виробництва одиниці продукції	п.1 + п.3	тис.грн.	2030,8
5. ПДВ	п.4*0,2	тис.грн	406,16
6. Відпускна ціна товару	п.4+п.5	тис.грн	2436,96

Розрахункова відпускна ціна товару складає 2436,96 грн, приймаємо за встановлену ринкову ціну 2436,96 грн за одиницю товару.

### 5.9 Канали збуту

Каналами збуту даної продукції являються підрядні фірми, які займаються реконструкціями систем тепlopостачання. Інформація буде передана до них за допомогою реклами на яку виділені кошти.

### 5.10 Бізнес-модель проекту

Структурна бізнес-модель даного стартап-проекту наведена в таблиці 14.

**Таблиця 5.14 Структура бізнес моделі**

<b>Ключові партнери</b>  «КОНЦЕР Н-ЕЛЕКТРОН»  YUNASK O-UKRAINE LLC	<b>Ключові види діяльності</b> 1. Закупка та надання сировини та комплектуючих матеріалів виробництву на виготовлення датчиків ATF2020. 2. Просування та реалізація товару на ринку за допомогою реклами та маркетингу.	<b>Цінність пропозиції</b> Інноваційність. Економія грошових ресурсів раціональним зменшенням використання теплової енергії.	<b>Споживчі сегменти</b> Особливий споживацький сегмент: індивідуальні теплові пункти цивільних та промислових споруд, вентиляційні установки та системи промислового та цивільного призначення.
	<b>Ключові ресурси</b> 1. Матеріальні ресурси (оренда приміщення, сировина та комплектуючі)		<b>Канали збуту</b> Прямий продаж

	матеріали). 2.Інтелектуальні ресурси(створення реклами, патентів, статей). 3. Людські ресурси (кваліфіковані менеджери). 4.Фінансові ресурси(кошти інвестора, кошти з продажів).		продукту підрядним фірмам замовникам. Реклама, журнали автоматизації, отримання грантів на написання рекламних статей.
<b>Структура собівартості</b> 1.Витрати разові (капітальні): <b>117256</b> грн 2.Витрати постійні: <b>756000</b> грн 3.Витрати змінні: <b>116 500</b> грн		<b>Потоки надходження доходу</b>  Продаж продукції	

### 5.11 Термін окупності стартап-проекту та висновки

Чим швидше окупаються інвестиції, тим менше впливає на них інфляція!

Про сказаний головний закон ринку ніколи не потрібно забувати.

Тому для оцінки доцільності інвестування даного стартап-проекту скористаємося формулою визначення терміну окупності:

$$T = IC/P,$$

де T – термін окупності;

IC – початкова інвестиція у даний проект;

P – очікуваний щорічний прибуток , що планується.

$$T = 117256/96548 = 1,21 \text{ р.}$$

Період повної окупності даного стартап-проекту з урахуванням початкової інвестиції у розмірі 117256 грн складає 1 рік та 3 місяці.

#### ВИСНОВКИ

Застосування суперконденсаторів у системах живлення шахтних акумуляторних електровозів при маневрових роботах дозволяє:

- збільшити тривалість часу роботи на одному заряді акумуляторної батареї;
- - рекуперувати електроенергію, яка виробляється в процесі гальмування для подальшої роботи в системі живлення електровоза;
- - значно збільшити (до 30%) життєвий цикл батареї.

З'являється можливість комерціалізації проекту - в умовах жорсткої конкуренції на ринку суперкондентровозів ціна на суперконденсаторні батареї буде знижуватись і буде зменшуватись собівартість продукції.

Гірничовидобувна галузь потребує надійні системи транспортування копалин, - це означає що буде збільшуватись попит на транспортні засоби

### **Загальні висновки**

1 Для подальшого вдосконалення шахтного електровозного транспорту необхідно розробляти нові електровози з двигунами змінного струму ( тягові асинхронні двигуни та безколекторні двигуни постійного струму або вентильні двигуни).

2. Для підвищення енергоефективності енерго та ресурсозбереження гірського локомотивного транспорту необхідна заміна нікель-залізних акумуляторних батарей кислотно-свинцевими, які є більш енергоємними.

3. На електровозах, які проходять модернізацію систем управління змінювати застарілі механічні контактори на сучасні тиристорно-транзисторні системи керування.

Необхідне широке впровадження комбінованих накопичувачів електричної енергії на базі акумуляторних батарей та суперконденсаторів..

Застосування суперконденсаторів у системах живлення шахтних акумуляторних електровозів при маневрових роботах дозволяє:

- збільшити тривалість часу роботи на одному заряді акумуляторної батареї;
- рекуперувати електроенергію, яка виробляється в процесі гальмування для подальшої роботи в системі живлення електровоза;
- значно збільшити (до 30%) життєвий цикл батареї.

З'являється можливість комерціалізації проекту - в умовах жорсткої конкуренції на ринку суперконденсаторів ціна на суперконденсаторні батареї буде знижуватись і буде зменшуватись собівартість продукції.

Гірничовидобувна галузь потребує надійні системи транспортування копалин, - це означає що буде збільшуватись попит на транспортні засоби. Для вирішення проблеми енергозбереження пропонується використовувати в регульованому приводі шахтного електровоза пристрої, які називаються суперконденсаторами. Суперконденсатори (іоністори, ультраконденсатори, конденсатори з подвійним електричним шаром). Завдяки своїм властивостям ці пристрої займають проміжне положення

поміж звичайними конденсаторами і акумуляторами Основні перспективи використання суперконденсаторів пов'язані з їх застосуванням в якості додаткового джерела живлення для регульованих електроприводів Застосування суперконденсаторів в ланці постійного струму разом з основним джерелом живлення дозволяє і в подальшому використовувати в рушійних режимах Результати досліджень показують, що використання суперконденсаторів в механізмах з повторно- короткочасною дією дозволяє економити до 40 % енергії запасати енергію в гальмівних режимах і в подальшому використовувати її в рушійних режимах

**Перелік посилань**

1. Синчук О.Н., Беридзе Т.М., Гузов Э.С. Системы управления рудничным электровозным транспортом, – М.: Недра, 1993. – 255 с.
2. Волотковский С.А. Рудничная электровозная тяга. – М.: Недра, 1981. – 389 с.
3. Алексеев Н.И. Оптимизация систем электрической тяги в подземных выработках. – М.: Недра, 1979. – 252 с.
4. Маренич К.Н., Ставицкий В.Н. Актуальные вопросы эксплуатации шахтных аккумуляторных электровозов. // Уголь Украины, 1999, №6. – с. 25.
5. Маренич К.Н., Ставицкий В.Н., Ешан Р.В. Применение тиристорного триггера в качестве инвертора преобразователя частоты. / В сб. Наука-практика, вып. 3, – Донецк: ДонГТУ, 1998. – с. 247–249.
6. Крайцберг М.И., Шикуть Э.В. Импульсные методы регулирования цепей постоянного тока с помощью тиристорov. – М.: Энергия, 1969. – 88 с.
7. Czapla I., Gizinski Z., Maliszewski I. Układ rozruchu impulsowe dla akumulatorowych lokomotyw dolowych. // Przegl electrotechn., 1969, № 10.
8. Кучма К.Г., Висин Н.Г., Пашков Ф.Е. Тиристорно-импульсная система регулирования напряжения тяговых двигателей контактно-аккумуляторного электровоза постоянного тока. // Труды ДИИТа, 1968, вып. 77.
9. Доценко А.П., Бирзниец Л.В. Двухфазный тиристорный широтно-импульсный преобразователь для безреостатного регулирования скорости электроподвижного состава постоянного тока. // Труды ВНИИ вагоностроения, 1968, № 8.
10. Гейнц К., Вагнер Р. Импульсное регулирование тяговых двигателей при питании от контактной сети постоянного тока. // Elektrotechn. Z., – 1966, A87, № 5.

11. Dzidovski J., Hefczyc M., Szczucki F. Koncepcja zastosowania asynchronicznych silnicow klatkowych do napedov lokomotyv dolowych. // Mechanizacja i automatizacja gornictwa, № 4, 1985. – s. 5–7.
12. Пивняк Г.Г. Транспорт с индуктивной передачей энергии для угольных шахт, – М.: Недра, 1990. – 245 с.
13. Ильинский Н.Ф., Козаченко В.Ф. Общий курс электропривода: Учебник для вузов, – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 544 с.
14. В.П. Степаненко. Применение комбинированных (гибридных) Энергосиловых установок в горной промышленности. //Горный информационно-технический бюллетень.- М.-. Горная книга.-2014.-№11.- С.322-328.
15. В. И. Белозеров, В.П. Степаненко. Актуальность создания карьерных локомотивов с накопителем энергии. //Горная промышленность.-2014.-.2014.-.№4.-. С.76.
16. И.Н. Варакин, В.В. Менухов, В.В. Самитин. Перспективы применения электрохимических конденсаторов в составе комбинированных энергосиловых установок на автосамосвалах.// Горная промышленность.- 2008.-.№3.-С.79-86.3.
17. Духопельников В.Д., Сташинов Ю.П. Совершенствование тяговых характеристик рудничных электровозов//Горная электромеханика и автоматика. - Харьков. 1966, N 6.- С. 124-129.
18. Сташинов Ю.П., Сташинова Л.Ф. Реверсивный электропривод постоянного тока с серийным двигателем. А. С. N 483752 (СССР). М. Кл. Н 02р 1/22.Опубл. в бюлл. "Изобретения. Открытия. Пром. образ.. цы. Товарные знаки", 1975, N 33.
19. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин. М., Высшая школа, 1987. 248 с.
20. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0. М., Коронапринт, 2001. 320 с.

21. О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний. *Электропривод Навчальний посібник* // Київ «Освіта України» 2009
22. Степаненко В. П., Сорин Л. Н. Энергоэффективность подземной локомотивной откатки с гибридными накопителями энергии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 6. – С. 135–140.
23. Степаненко В. П., Сорин Л. Н. Актуальность ресурсо- энергосбережения подземных рудничных локомотивов с комбинированными накопителями энергии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 5. – С. 323–328.
24. Степаненко В. П., Белозеров В. И. Применение комбинированных (гибридных) энергосиловых установок горнотранспортных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 2. – С. 174–181.
25. Степаненко В. П. Применение комбинированных (гибридных) энергосиловых установок в горной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 11. – С. 322–328.
26. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
27. Що таке стартап? 2017 [online] (останнє оновлення вересень 2017) Доступно: <https://biznesua.com.ua/shho-take-startap> [Дата звернення 25.04.2018].
28. Закон України «Про інститути спільного інвестування, 2017 [online] (останнє оновлення листопад 2017). Доступно: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/main/5080-17> [Дата звернення 26.04.2019].

29. Закон України «Про збір та облік єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування №2464-VI.» <http://www.president.gov.ua/documents/2464-vi-11763/>

30. Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 16 «Витрати» зі змінами і доповненнями, внесеними наказом Міністерства України від 11.12.2006 р. № 1176.

31. [Економіка підприємства: Книга 1. \[підручник для студентів вищих навч. закладів\]; за заг.ред. П.В. Круша, К.В. Шелехова. – К.: ДП «НВЦ Пріоритети», 2014. -676 с.](#)

32. Закон України «Про внесення змін до Податкового кодексу України щодо покращення інвестиційного клімату в Україні» від 21.12.2017 р. № 1797-VIII.

33. Круш П.В. Ціноутворення : підручник / П.В. Круш, О.І. Андрусь. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. – 292 с.

34. Податковий кодекс України. [Закон № 2755-VI від 02.12.2010 «Голос України» № 229-230 від 04. 12. 2010.](#)

35. Шевчук Н.А., Зайченко С.В., Кривда О.В. Впровадження та реалізація стартап проекту геомехатронного комплексу // [Сучасні проблеми економіки і підприємництва \[Текст\]: Збірник наукових праць. – Вип. 21. – К.: ІВЦ Видавництво «Політехніка», 2018 С.94-101](#)(Міжнародна індексація: [Index Copernicus](#), [Google Scholar](#), [SIS](#)).

36. Шевчук Н.А. Впровадження та реалізація стартапів в гірництві / Шевчук Н.А. / Міжнародна науково-технічна конференція, присвячена 120 – річчю КПІ «ПРОБЛЕМИ ГЕОІНЖЕНЕРІЇ ТА ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ», [м. Київ, 17-18 травня 2018 р.– К.: НТУУ «КПІ», 2018. – С. 89-90.](#)

37. Поліщук В.В. Стартап проекти та їх оцінювання: конспект лекцій для студентів за спеціальністю 7.121 «Інженерія програмного забезпечення» факультету інформаційних технологій УжНУ. – Ужгород: 2018. – 74 с. <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/19695/1/7.pdf>.

38. Економіка підприємства: Книга 2. [підручник для студентів вищих навч. закладів]; за заг.ред. П.В. Круша, К.В. Шелехова. – К.: ДП «НВЦ Пріоритети», 2014. -624 с.

39. Вентильні тягові двигуни <https://ukrainemotors.com.ua>