

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Бакалаврська дипломна робота на тему:
«МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА
ТРОЛЕЙБУСА»

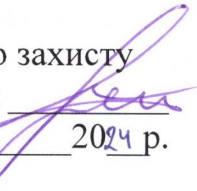
Виконав: студент 4 курсу, гр. 1ЕМ-206
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

Ярослав БАРАНОВСЬКИЙ 
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри КЕМСК

Олексій ЖУКОВ
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

Рецензент  к.т.н., доц. каф. ЕЕМ Басенко О.В.
(прізвище та ініціали)
« 10 » 06 2024 р.

Допущено до захисту
Зав. кафедри 
« 28 » 05 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

Вінницький національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 – Електрична інженерія

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма «Електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

зав. кафедри КЕМСК

к.т.н., доц. Мошноріз М.М.

«11» 03 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Барановському Ярославу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація системи керування тягового електропривода тролейбуса

керівник роботи Жуков Олексій Анатолійович к.т.н. доц.

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

затверджені наказом ВНТУ від «11» 03 2024 року № 80.

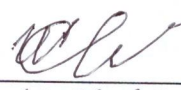
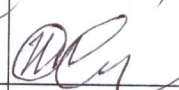
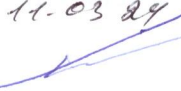
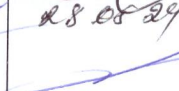
2. Строк подання студентом проекту (роботи): _____

3. Вихідні дані до роботи: Маса спорядженого тролейбуса 11200 кг. Кількість місць для сидіння 30. Кількість місць для проїзду пасажирів стоячи 100. Підйом, який має долати тролейбус 12%. Максимальна швидкість 75 км/год. Коефіцієнт корисної дії передачі 0,97. Загальне передаточне число 9,817. Ведучий міст гіпоїдний.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Коротка характеристика виробничого механізму і режимів його роботи. Розрахунок статичних навантажень і тахограми руху робочого органу виробничого механізму. Попередній розрахунок потужності приводного двигуна. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода. Вибір електродвигуна. Розрахунок динамічних навантажень та побудова навантажувальної діаграми електропривода. Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску. Розрахунок статичних характеристик двигуна. Розробка системи керування електричного привода. Моделювання перехідних процесів САЕП. Оцінка стійкості та якості. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Зовнішній вигляд, кінематична схема та тахограми роботи. Схема електрична структурна. Моделювання перехідних процесів. Схема електрична принципова.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання при
Основна частина	Жуков О.А. к.т.н., доц, каф. КЕМСК	11.03.24 	28.05.24 
Охорона праці	Кобилянський О.В., д.пед.н, зав.каф. БЖДпб	11.03.24 	28.05.24 

7. Дата видачі завдання « 11 » 03 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	11.03.2024	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	21.05.2024	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	28.05.2024	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	28.05.2024	
5	Попередній захист БДР	28.05.2024	
6	Нормоконтроль БДР	28.05.2024	
7	Рецензування БДР	10.06.2024	
8	Захист БДР	13.06.2024	

Студент


(підпис)

Ярослав БАРАНОВСЬКИЙ

Керівник роботи


(підпис)

Олексій ЖУКОВ

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська дипломна робота складається з 112 сторінок формату А4, на яких є 34 рисунків, 22 таблиць, список використаних джерел містить 28 найменування.

У бакалаврській дипломній роботі модернізовано електропривод тролейбуса, що забезпечує плавний пуск, точне регулювання швидкості руху, електричне та рекуперативне гальмування тролейбуса. Проведено розрахунок і вибір приводного двигуна, розроблено систему керування. Виконано розрахунки статичних і динамічних характеристик. Результати розрахунків показали, що розроблена система керування повністю відповідає поставленим задачам. Запропоноване рішення є більш економічним та надійним у роботі. Розроблено електричні структурну і функціональну схеми, а також виконано розрахунки і вибір елементів їх силових частин.

Визначено основні положення щодо охорони праці та безпечної експлуатації електроприводу.

Ключові слова: електропривод тролейбуса, плавний пуск, регулювання швидкості, приводний двигун, система керування

ABSTRACT

The bachelor thesis consists of 112 pages of A4 format, on which there are 34 figures, 22 tables, the list of used sources contains 28 names.

In the bachelor's thesis, the electric drive of the trolleybus was modernized, which ensures a smooth start, precise regulation of the speed of movement, electric and regenerative braking of the trolleybus. The calculation and selection of the drive motor was carried out, the control system was developed. Calculations of static and dynamic characteristics were performed. The results of the calculations showed that the developed control system fully meets the set objectives. The proposed solution is more economical and reliable in operation. Electrical structural and functional diagrams were developed, as well as calculations and selection of elements of their power parts were performed.

The main provisions regarding labor protection and safe operation of the electric drive are defined.

Key words: trolleybus electric drive, soft start, speed control, drive motor, control system

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНІЗМУ І РЕЖИМІВ ЙОГО РОБОТИ ...	9
1.1 Загальні відомості про тролейбус.....	9
1.2 Опис механічного і електричного устаткування	12
1.3 Постановка задачі проектування	19
2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ	21
2.1 Розрахунок тахограм робочого механізму.....	21
2.2 Розрахунок приведених інерційних мас та моментів інерції	25
2.3 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна.....	30
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	33
3.1 Розрахунок системи ПЧ-АД.....	35
4 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ЙОГО ПЕРЕВІРКА	37
4.1 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску.....	37
5 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	39
6 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА РОЗРАХУНОК І ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ КОЛА УПРАВЛІННЯ	44
6.1 Визначення і опис конструкції перетворювального агрегату.....	44
6.2 Визначення, опис і вибір силового модуля.....	47
6.3 Вибір і програмування контролера	61
7 РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК САЕП	66
8 РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК САЕП	68
9 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НА СТІЙКІСТЬ ТА ЯКІСТЬ	71
9.1 Оцінка стійкості	71
9.2 Оцінка якості	21
10 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	68

10.1 Розрахунок індуктивності згладжувального дроселя	75
10.2 Вибір сенсорів	76
10.3 Вибір задатчика інтенсивності	77
10.4 Розробка принципової схеми системи електроприводу	80
11 ОХОРОНА ПРАЦІ	86
11.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації тролейбусного депо	87
11.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	91
11.2 Пожежна безпека	95
ВИСНОВКИ	99
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	100
Додаток А Технічне завдання.....	103
Додаток Б Графічна частина.....	106
Додаток В Протокол перевірки дипломної роботи на наявність текстових запозичень	124

ВСТУП

Актуальність. Сучасний міський електричний транспорт є одним із основних видів транспорту, призначеного для маршрутного обслуговування міського населення. Поряд із рейковим міським електротранспортом (трамвай, метрополітен) тролейбус знайшов широке застосування як громадський електричний транспорт, що не вимагає прокладання рейкових комунікацій. У ньому поєднуються конструктивні елементи та агрегати рухомого складу автомобільного типу та електро-залізниці. Ходова частина, тягова передача та частково органи керування однотипні із обладнанням автобусів. Тяговий електродвигун, система електричного керування мають багато спільного з електроустаткуванням рейкового електричного рухомого складу.

Станом на сьогодні, тролейбусний парк України переважно є застарілим та зношеним, тому потребує оновлення або модернізації рухомого складу. Як альтернативу дороговартісній закупівлі нових тролейбусів, можна розглянути модернізацію існуючих, модернізуючи їх електропривод та систему керування.

На відміну від трамвая, тролейбус може використовуватися на вузьких вулицях, там де неможливо прокласти трамвайні колії. Він забезпечує зручну посадку та висадку пасажирів завдяки своїй маневреності. Тролейбус може без проблем об'їжджати неправильно припарковані або несправні автомобілі. Він рухається по звичайній автомобільній дорозі з твердим покриттям, що дозволяє використовувати існуючу дорожню мережу міста без значного переобладнання.

Тому розвиток та проведення наукових досліджень у сфері експлуатації електроприводу тролейбусу є актуальною задачею.

Мета роботи. Підвищити ефективність роботи тягового електропривода тролейбуса за рахунок вибору кращої системи електропривода, що дозволить покращити динамічні показники, показники якості роботи електропривода та зменшити сумарні зведені економічні затрати при експлуатації електропривода.

Об'єкт дослідження – процес роботи тягового електропривода

тролейбуса.

Предмет дослідження – різні системи тягового електропривода троллейбуса.

Методи дослідження. У процесі дослідження застосовувалися: теорія електричних машин; методи аналізу електричних кіл; методи комп'ютерного імітаційного моделювання для дослідження динаміки електромеханічних систем; методи частотного аналізу стійкості замкнутих систем.

Постановка задачі проектування.

- 1) провести аналіз існуючих систем тягового електроприводу троллейбуса;
- 2) розрахувати параметри систем тягового електропривода троллейбуса;
- 3) розробити модель тягового електроприводу троллейбуса;
- 4) промодельовати роботу електроприводу троллейбуса і зробити висновки про ефективність її роботи.

Практичне значення одержаних результатів:

Розроблено комп'ютерну модель системи керування асинхронним двигуном, та модель його системи керування. Це дозволяє виконати аналіз ефективності роботи системи електроприводу для різних умов.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які складають основний зміст бакалаврської дипломної роботи, отримані автором самостійно.

Публікації. За темою бакалаврської роботи було опубліковано тези доповіді «Сучасні системи керування троллейбусів» у збірнику XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», 23-24 травня, 2024 р., м. Чернігів, том 2, с. 205.

1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНІЗМУ І РЕЖИМІВ ЙОГО РОБОТИ

1.1 Загальні відомості про тролейбус

Тролейбус – це безрейковий транспортний засіб (зазвичай пасажирський) з електричним приводом, який отримує живлення через контактну мережу за допомогою штангового струмоприймача [3]. Він може бути обладнаний системами автономного ходу на акумуляторах, суперконденсаторах або навіть двигунах внутрішнього згорання, у такому випадку його називають дуобусом. Тролейбуси зазвичай використовуються в містах, хоча існують також міжміські маршрути. Спочатку їх планували для приміського транспорту, але з часом вони часто замінювали трамваї на ділянках, де прокладання рейок було незручним. Раніше використовували візок-колесо як струмознімач, який котився по дротах, але зараз застосовуються струмоприймачі з мідно-графітовими вставками.



Рисунок 1.1 – Рання конструкція штангового струмознімача

Окрім пасажирських тролейбусів, що складають основну частину тролейбусного парку, у веденні тролейбусних управлінь можуть знаходитися учбові, екскурсійні, службові, вантажні тролейбуси, машини обслуговування контактної мережі, тягачі-евакуатори для буксирування несправних тролейбусів або таких, що опинилися на знеструмлених ділянках контактної мережі.

В числі пасажирських тролейбусів, що експлуатуються комунальними підприємствами зокрема є такі: Останній є представником найновіших, найекономічніших і найефективніших моделей тролейбуса українського виробництва.

Міський тролейбус E183D1-01 (рисунок 1.2) призначений для перевезення пасажирів на автомобільних дорогах, розрахованих на пропуск автомобілів з осьовим навантаженням до 115 кН (11,5 т.с.), в мікрокліматичних районах з помірно-теплим кліматом за ГОСТ 15150, при температурах навколишнього повітря від мінус 25°C до плюс 35°C і відносній вологості до 75% при температурі плюс 15°C при безгаражному зберіганні [4]. За умови зберігання тролейбусів в опалюваних приміщеннях допускається експлуатація тролейбусів при нижній граничній температурі навколишнього повітря до мінус 40°C і відносній вологості до 80% при температурі плюс 6°C.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд тролейбуса

Міські тролейбуси E183D1-01 з колісною формулою 4x2 мають суцільно металевий кузов вагонної компоновки з трьома бічними двостулковими дверима.

Схема планування салону тролейбуса Електро-ЛАЗ приведена на рисунку 1.3.

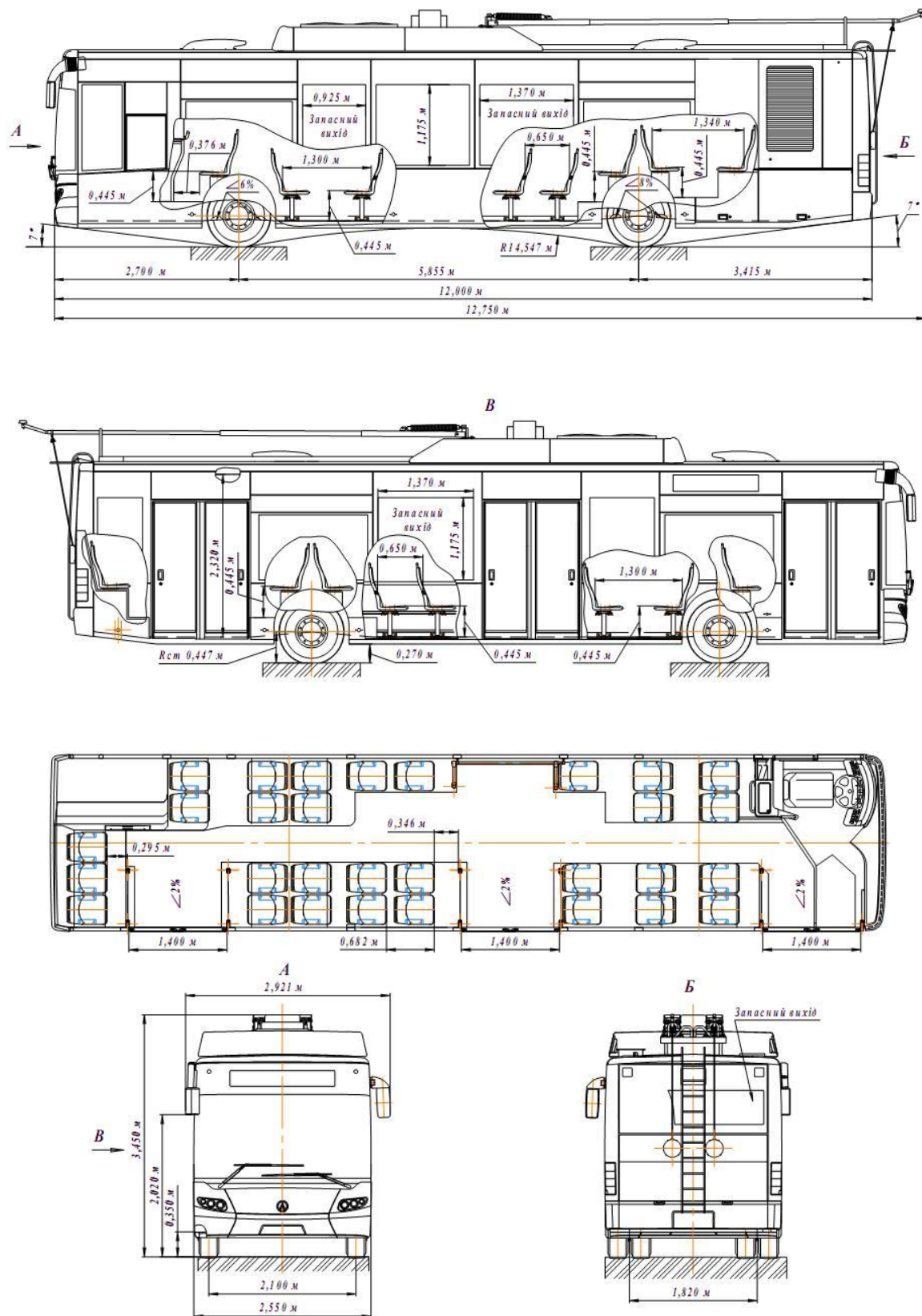


Рисунок 1.3 – Планування салону та габаритні розміри тролейбуса

Тролейбус ЛАЗ-Е183 створений на базі автобуса "СітіЛАЗ" А-183 з низькою підлогою (висотою 35 см) без сходинок на всіх трьох дверях, що робить його особливо зручним для пасажирів з обмеженими фізичними можливостями. Він має 24-36 місць для сидіння і довгий диван по правому борту. Салон вміщує до 120 пасажирів (з розрахунку 8 осіб на 1 кв.м вільного місця). Завдяки низькій підлозі, колісні арки вдало вписані в інтер'єр завдяки використанню низькопрофільних автобусних шин, хоча прохід між задніми арками вийшов вузьким. Тролейбус оснащений великими тонованими вікнами, багатьма вертикальними поручнями та великим накопичувальним майданчиком біля других дверей, що робить його сучасним транспортним засобом на рівні західних аналогів.

Тролейбус укомплектований тяговим електрообладнанням (чеського виробництва). Однією з особливостей нової розробки ЗАТ "Львівський автомобільний завод" для троллейбусів є зменшене споживання електроенергії завдяки транзисторній системі керування тяговим двигуном. Крім того, для виробництва автобусів і троллейбусів запроваджені нові прогресивні матеріали і технології: нанесення перед електроконтактним зварюванням струмопровідного антикорозійного покриття на каркас кузова і панелі; антикорозійний захист лакофарбовими матеріалами фірми "RANAL"; герметизація щілин, стиків, зварних швів і панелей каркасу кузова; застосування оцинкованої сталі для облицювання кузова; приклеювання боковин, дверцят та віконного скла до каркасу клеями фірми Sika та інші.

1.2 Опис механічного і електричного устаткування

Тролейбуси – це складні машини, що складаються з багатьох механізмів та систем. У кожному троллейбусі виділяються п'ять основних частин: кузов, тяговий електродвигун, шасі, пневматичне обладнання, пускорегулююча електроапаратура із системою керування та допоміжним електричним обладнанням.

Кузов з рамою (несучий кузов) є основою, що дає можливість механічно приєднувати до нього обладнання або з'єднувати між собою окремі агрегати і елементи рухомого складу. У кузові обладнано приміщення для пасажирів та кабіна для водія, розміщено окремі пристрої та різна апаратура і елементи обладнання.

Тяговий електродвигун призначений для перетворення електричної енергії у механічну. В результаті такого перетворення здійснює обертання вал електродвигуна, крутний момент через проміжні механізми передається на провідні колеса тролейбуса. На тролейбусах можуть застосовуватись тягові електродвигуни як постійного, так і трифазні двигуни змінного струму.

Шасі містить групи деталей, механізмів і систем, серед яких трансмісія, несуча система, підвіска, колеса, кермо та гальмівні системи.

Трансмісія передає і перетворює крутний момент від тягового двигуна до провідних колес. У трансмісію входить карданна передача, головна передача, диференціал, півосі та кінцеві передачі.

Передній міст шарнірно з'єднується з кузовом за допомогою передньої підвіски та передає навантаження передньої частині тролейбуса на дорогу через колеса. Передні мости тролейбусів керовані та дають можливість змінювати напрямок руху тролейбуса.

Задній міст з'єднується з кузовом за допомогою задньої підвіски та передає навантаження задньої частини тролейбуса на дорогу через колеса. Задні мости, зазвичай, є приводними, тобто. забезпечують реалізацію сили тяги і власне рух тролейбуса. У корпусі заднього моста розміщуються елементи трансмісії.

Передня та задня підвіски тролейбуса забезпечують комфортні умови поїздки для пасажирів.

Механізм рульового управління тролейбуса з гідروпідсилювачем забезпечує поворот коліс переднього моста у потрібному напрямку руху. Поворот рульового колеса здійснюється при зусиллі, що не викликає

дискомфорту водія. Під час руху по прямій виключається необхідність помітного коригування водієм напрямку руху.

Гальмівна система призначена для забезпечення уповільнення рухомого тролейбуса, з бажаною інтенсивністю аж до зупинки, а також для утримання його на стоянці.

Пневматичне обладнання тролейбуса служить для отримання та акумулювання стисненого повітря, подачі його до гальмівних пристроїв, пневматичної підвіски та механізмів обслуговування кузова, а також для приведення їх у дію.

Пускорегулююча електрична апаратура призначена для плавного регулювання швидкості тролейбуса, електродинамічного гальмування з рекуперацією електроенергії в мережу та автоматичного гасіння електроенергії, що виробляється.

Система керування призначена для реалізації необхідних тягових характеристик та виконується із застосуванням засобів мікропроцесорної техніки з метою автоматичного вибору найбільш оптимального режиму руху тролейбуса, реалізації різних законів керування тяговим двигуном залежно від умов руху, профілю дороги, навантаження, положення педалі. Система управління включає такі системи і блоки: блок управління тяговими двигунами; центральний пульт керування; систему зв'язку та інформації.

Допоміжна електрична апаратура включає електродвигуни насосів, компресорів, акумуляторні батареї, системи керування для забезпечення їх правильної роботи, а також освітлення, опалення, вентиляції, сигналізації та інші допоміжні кола.

Для того щоб проектувати новий електропривод тролейбуса або модернізувати уже існуючий потрібно аналізувати графік траєкторії руху тролейбуса. Це графік зміни швидкості в функції часу (рис. 1.3).

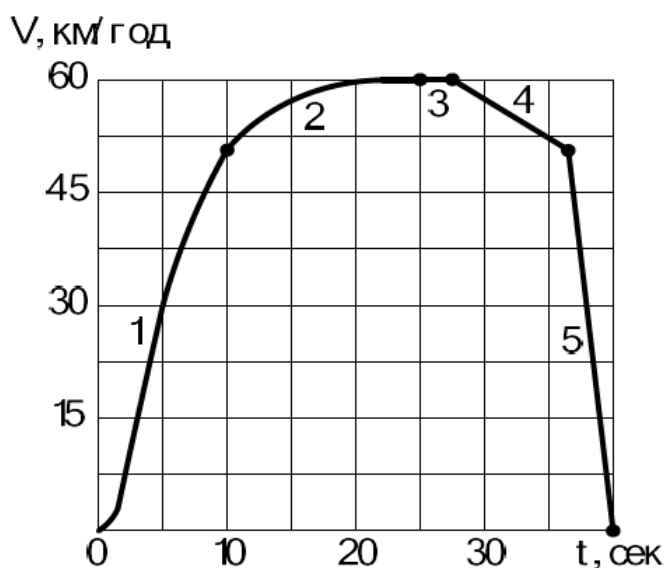


Рисунок 1.3 – Діаграма руху тролейбуса

Діаграму руху можна розбити на 5 головних етапів:

1. Розгін тролейбуса за рахунок пуску;
2. Розгін за допомогою автоматичної характеристики;
3. Рух зі сталою швидкістю;
4. Рух по інерції;
5. Гальмування.

Кінематична схема тягового механізму тролейбуса зображена на рисунку 1.4. Конічна передача (1-2) виконує передачу крутного моменту тягового двигуна (9) на головну передачу (5) ведучого моста під кутом, що змінюється під час руху. Ходова частина об'єднує всі агрегати і механізми тролейбуса, які призначені для передачі зусилля від двигуна до ведучого мосту і керування рухом тролейбуса. Конічний вал (7) розташований між валами тягового двигуна і центрального редуктора. З ведучим мостом конічний вал жорстко з'єднаний через фланцеву вилку. Конічний вал в зібраному стані відбалансований. Для ізоляції тягового двигуна від корпусу тролейбуса між фланцями конічного валу двигуна встановлюється електроізоляційна муфта (8). Ведучий міст сприймає вагу частини рами і кузова тролейбуса, а також передає тягове й гальмівне зусилля коліс (11) на кузов при русі. Міст має двохступінчасту передачу, перша

– центральний гіпоїдний редуктор (1-2), друга – циліндричні колесні редуктори (5-6). Гіпоїдна передача, на відміну від звичайної зубчатої передачі, має при інших рівних умовах найкраще зчеплення і більшу міцність зубів. Диференціал (3) розподіляє обертові моменти між піввісями (4) правого і лівого коліс під час поворотів.

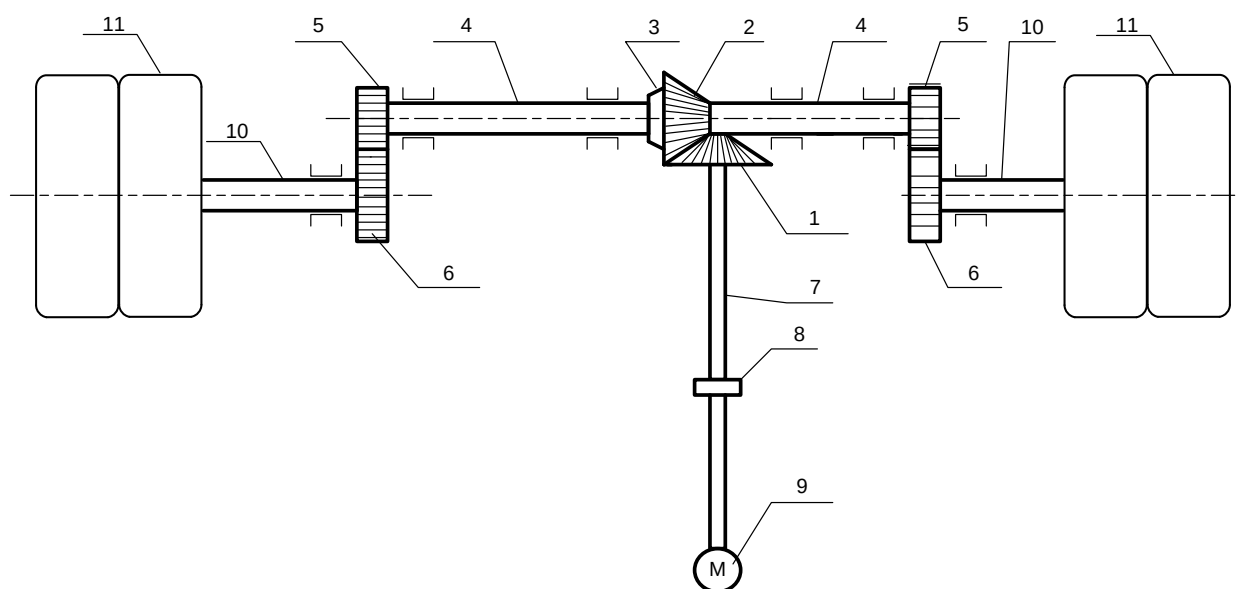


Рисунок 1.4 – Кінематична схема тягової передачі тролейбуса

На рисунку 1.4: 1 – ведуча шестерня; 2 – ведена шестерня; 3 – диференціал; 4 – піввісь; 5 – ведуча циліндрична шестерня; 6 – ведена циліндрична шестерня; 7 – конічний вал; 8 – електроізоляційна муфта; 9 – тяговий двигун; 10 – вісь веденої циліндричної шестерні, 11 – привідні колеса.

Технічні характеристики тролейбуса типу ЛАЗ Е183 наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики тролейбуса

Загальна вага тролейбуса, кг	$m_0 = 11200$
Вага навантаженого тролейбуса, кг	$m = 18000$
Радіус валу ходового колеса, м	$r = 0,1405$
Радіус ходового колеса, м	$R_k = 0,4719$
коефіцієнт тертя ковзання в підшипниках кочення	$\mu = 0,015$
Передаточне число ведучого моста	$i = 9,817$
ККД трансмісії тролейбуса	$\eta = 0,9$

Тяговий електродвигун (ТЕД) є основним силовим агрегатом тролейбуса, який забезпечує створення тягового зусилля, що дозволяє тролейбусу рухатися. Конструкція ТЕД постійного струму включає декілька основних компонентів: остов, який може бути циліндричним або багатограним; якір з колектором; головні та додаткові полюси; щіткові апарати з графітовими електрощітками; вентилятор для охолодження; та підшипникові щити з підшипниками.

Остов є каркасом двигуна, що забезпечує його жорсткість і захист внутрішніх компонентів. Якір з колектором відповідає за перетворення електричної енергії в механічну. Головні та додаткові полюси створюють магнітне поле, необхідне для роботи двигуна. Щіткові апарати забезпечують передачу електричного струму до якоря через графітові щітки, що мінімізують знос і забезпечують стабільну роботу.

Вентилятор охолодження запобігає перегріву двигуна, забезпечуючи належний тепловий режим. Підшипникові щити з підшипниками зменшують тертя та підтримують плавність обертання якоря.

Переважна більшість тролейбусних ТЕД є двигунами постійного струму з послідовним (серійним) або змішаним (компаундним) збудженням. Двигуни з послідовним збудженням мають високу початкову потужність і добре підходять для тролейбусів, які потребують високого тягового зусилля при старті. Двигуни зі змішаним збудженням поєднують властивості послідовного і паралельного збудження, що забезпечує стабільну роботу при різних умовах експлуатації та підвищує ефективність використання енергії.

Також активно впроваджується застосування асинхронних тягових двигунів. Наприклад, асинхронний тяговий двигун ДТА-1 (рисунок 1.5). Його характеристики: потужність - 180 кВт лінійна напруга - 407 В АС, лінійний струм - 305 А, момент на валу - 1150 Нм, частота обертання - 1500 об / хв, маса - 840 кг.

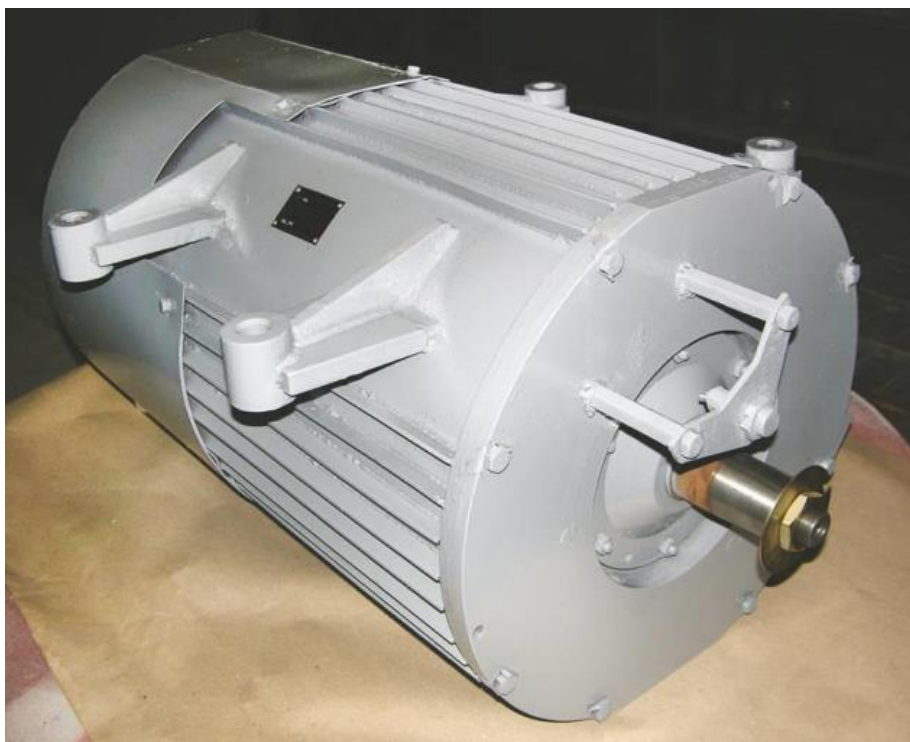


Рисунок 1.5 – Асинхронний тяговий двигун ДТА-1

Асинхронні тягові електродвигуни змінного струму (АС - Alternating Current), керуються тяговим перетворювачем змінного струму і є сучасним та ефективним рішенням для електротранспорту. Такі двигуни мають кілька важливих переваг: вони потужніші, легші, компактніші і довговічніші порівняно з їх аналогами постійного струму. Окрім того, асинхронні двигуни не потребують постійного обслуговування, що знижує експлуатаційні витрати та підвищує надійність системи.

Більшість асинхронних ТЕД є електричними машинами змінного струму з напругою живлення 400 В. Вони мають короткозамкнений ротор та трифазну обмотку статора, яка з'єднана по схемі «зірка». Така конструкція забезпечує високу ефективність і надійність роботи двигуна, а також дозволяє досягти високих значень тягового зусилля і потужності.

Тяговий перетворювач змінного струму, який керує асинхронним ТЕД, є складною електронною системою, що забезпечує необхідну напругу і частоту для живлення двигуна. Він також відповідає за перетворення енергії з однієї

форми в іншу, що дозволяє оптимізувати роботу двигуна при різних режимах руху і знизити енергетичні втрати.

Під час роботи тролейбуса на маршруті важливо, щоб двигун мав характеристики, які максимально сприяють створенню тягового зусилля. Відповідність електродвигунів різних систем вимогам тяги значною мірою залежить від їх характеристик, таких як магнітні, електромагнітні, електромеханічні та тягові властивості, а також діючі сили.

При виборі електропривода необхідно враховувати його надійність та економічність, а також умови, які забезпечують оптимальну тягу.

1.3 Постановка задачі проектування

Вимоги, що пред'являються до тягового електроприводу виражаються в надійності, підвищенні якості роботи, простоті виконання, економічності, оптимальності при виконанні необхідних критеріїв.

Система керування повинна бути легка в обслуговуванні та експлуатації і повинна мати хороші економічні показники. Джерелами економії електроенергії можуть бути:

- зниження втрат при пуску;
- зменшення втрат у елементах кола управління;
- використання рекуперації при гальмуванні.

Втрати енергії при електричному гальмуванні складаються з енергії, що розсіюється на гальмівних реостатах, втрат в реакторах і обмотках тягових двигунів, в конденсаторах фільтрів, комутаційних втрат в ключових елементах імпульсних перетворювачів.

Оптимізація параметрів системи керування, дасть змогу знизити втрати.

В технічних характеристиках паспортних даних тролейбуса ЛАЗ-Е183 зазначено, що максимальна швидкість руху тролейбуса з технічно-допустимою максимальною масою, на горизонтальній ділянці дороги становить не менше 55 км/год. Максимальний підйом, який повинен долати троллейбус з технічно-

допустимою максимальною масою, зокрема з можливістю зупинки і руху з місця, на сухій дорозі з асфальтобетонним покриттям не менше 12%.

При модернізації електропривода тролейбуса слід дотримуватися зазначених характеристик. Електрична схема та система керування повинна передбачати можливість реалізації наступних режимів роботи під час експлуатації:

- Рух тролейбуса з низькими швидкостями на маневровій позиції.
- Нормальний автоматичний розгін тролейбуса.
- Рух тролейбуса з різними швидкостями.
- Службове електричне гальмування.
- Реверсування якоря електродвигуна (зміна напрямку руху тролейбуса під час маневрування).
- Рекуперація кінетичної енергії тролейбуса від двигуна, що в цей момент працює в режимі генератора, безпосередньо до мережі живлення.

Висновок. Було розглянуто конструктивні особливості та умови роботи тролейбуса, його зовнішній вигляд, планування салону та габаритні розміри, наведена кінематична схема тягової передачі, охарактеризовано електричний двигун. Зазначено основні вимоги, що пред'являються до системи електроприводу тролейбуса. Поставлено задачі проектування.

2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Розрахунок тахограм робочого механізму

Середня швидкість руху в м/с [6]:

$$v = V \frac{1000}{3600}, \quad (2.1)$$

де V – середня швидкість руху в км/год, ($V = 40$ км / год).

$$v = 40 \frac{1000}{3600} = 11.11 \text{ (м/с)}.$$

Середній час руху тролейбуса між зупинками:

$$t_p = \frac{S}{v}, \quad (2.2)$$

де S – середня відстань, яку долає тролейбус від зупинки до зупинки [5],
($S = 500$ м).

$$t_p = \frac{500}{11.11} = 45 \text{ (с)}.$$

Середній час циклу:

$$t_u = t_p + t_n, \quad (2.3)$$

де t_n – тривалість паузи, для висадки-посадки людей, ($t_n = 20$ с).

$$t_u = 45 + 20 = 65 \text{ (с)}.$$

Розглянемо такі режими руху [7]: при максимальному заповненні пасажирами салону і при холостому ході (відсутності пасажирів в салоні).

1. Тролейбус максимально заповнений.

Час розгону до усталеної швидкості:

$$t_{роз1} = \frac{v}{a_{роз1}}, \quad (2.4)$$

де $a_{роз1}$ – прискорення розгону при максимальному завантаженні, [5]

$$(a_{роз1} = 0.6 \text{ м/с}^2)$$

$$t_{роз1} = \frac{11.11}{0.6} = 18.52 \text{ (с)}.$$

Прийmemo, що прискорення при розгоні та прискорення під час гальмування однакові, тоді час гальмування до повної зупинки:

$$t_{\text{гал1}} = t_{\text{роз1}}, \quad (2.5)$$

$$t_{\text{гал1}} = 18.52 \text{ (с)}.$$

Час усталеної роботи двигуна тролейбуса:

$$t_{\text{усм1}} = t_p - t_{\text{роз1}} - t_{\text{гал1}}, \quad (2.6)$$

$$t_{\text{оно1}} = 65 - 18.52 - 18.52 = 27.96 \text{ (с)}.$$

2. Тролейбус під час холостого ходу (пустий салон).

Час розгону до усталеної швидкості:

$$t_{\text{роз2}} = \frac{v}{a_{\text{роз2}}}, \quad (2.7)$$

де $a_{\text{роз2}}$ – прискорення розгону при холостому ході, ($a_{\text{роз2}} = 0.8 \text{ м/с}^2$).

$$t_{\text{роз2}} = \frac{11.11}{0.8} = 13.8875 \text{ (с)}.$$

Прийmemo, що прискорення при розгоні та прискорення під час гальмування однакові, тоді час гальмування до повної зупинки:

$$t_{\text{гал2}} = t_{\text{роз2}} \quad (2.8)$$

$$t_{\text{гал2}} = 13.8875 \text{ (с)}.$$

Час усталеної роботи двигуна:

$$t_{\text{усм2}} = t_p - t_{\text{роз2}} - t_{\text{гал2}} \quad (2.9)$$

$$t_{\text{усм2}} = 65 - 13.8875 - 13.8875 = 37.225 \text{ (с)}.$$

Тахограми швидкості та прискорення двигуна тролейбуса, побудовані по обчисленим значенням, приведені на рисунку 2.1 та 2.2.

З паспортних даних тролейбуса Electro-ЛАЗ загальне передаточне число трансмісії буде $i = 9,817$. Тролейбус має два колеса на передній осі і чотири колеса на задньому мосту. Тип коліс: 8,25x22,5 дискові з нерозбірним ободом. Оскільки 1 дюйм = 2.54 сантиметра, тоді радіус коліс:

$$R_{\kappa} = 22.5 \cdot 2.54 = 57.15 \text{ (см)}. \quad (2.10)$$

Кутова швидкість обертання колеса [7]:

$$\omega_{\kappa} = \frac{v}{r_{\kappa}}, \quad (2.11)$$

$$\omega_{\kappa} = \frac{11.11}{0.5715} = 19.44 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Кутова швидкість обертання валу приводного двигуна:

$$\omega = \omega_{\kappa} \cdot i, \quad (2.12)$$

$$\omega = 19.44 \cdot 9.817 = 190.8425 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Кутова швидкість обертання валу приводного двигуна під час холостого ходу: $\omega_0 = 0$.

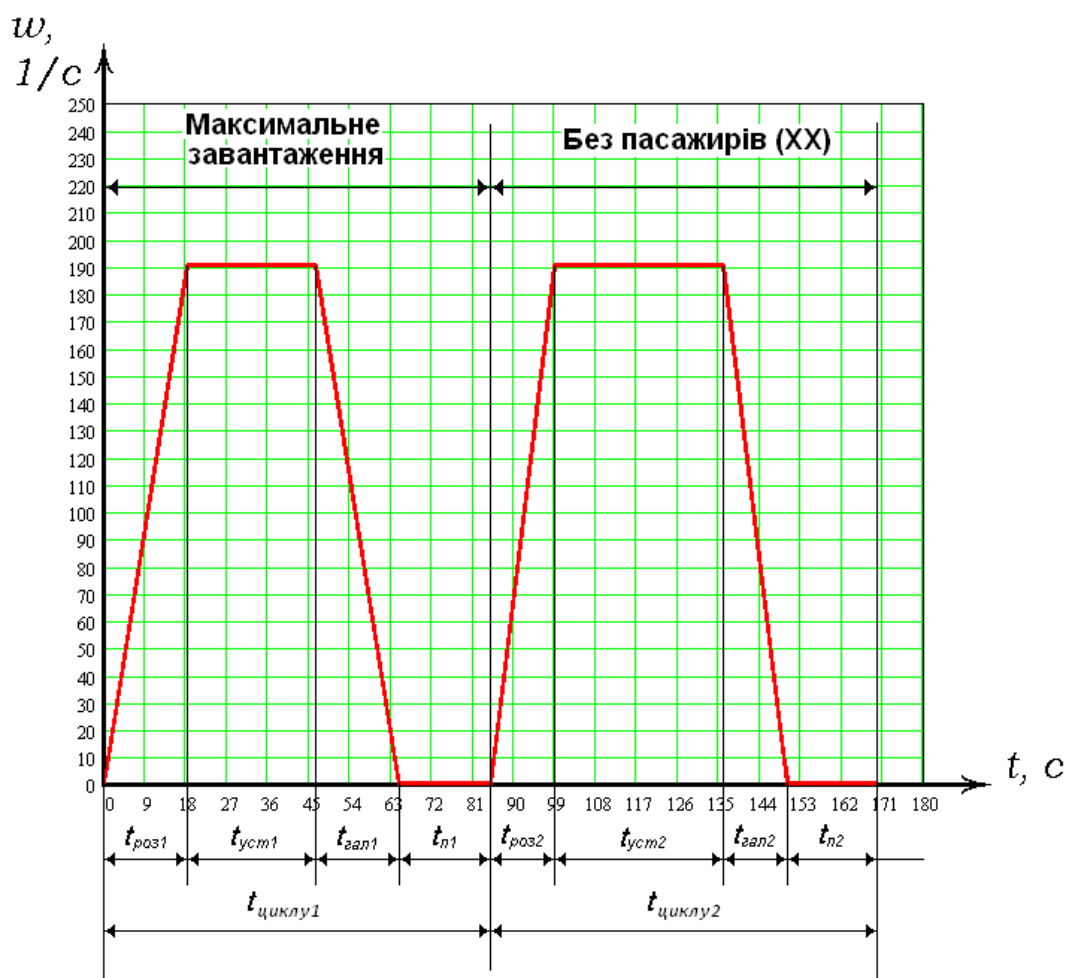


Рисунок 2.1 – Тахограма залежності кутової швидкості обертання ротора ω від часу t

Порахувавши інші значення кутового прискорення, отримаємо графік залежності кутового прискорення від часу, приведений на рисунку 2.2:

$$\varepsilon = \frac{d\omega(t)}{dt}, \quad (2.13)$$

$$\varepsilon = \frac{\omega_{\text{поч}} - \omega_{\text{кін}}}{\Delta t}, \quad (2.14)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{0 - 190.8425}{18.52} = -10.31 \text{ (с}^{-2}\text{)},$$

$$\varepsilon_2 = \frac{0 - 190.8425}{13.8875} = -13.742 \text{ (с}^{-2}\text{)},$$

де ε_1 – кутове прискорення при повному завантаженні тролейбуса;

ε_2 – кутове прискорення під час холостого ходу, тобто без пасажирів у салоні.

Графіки тахограми залежності кутового прискорення ε від часу t приведено на рисунку 2.2

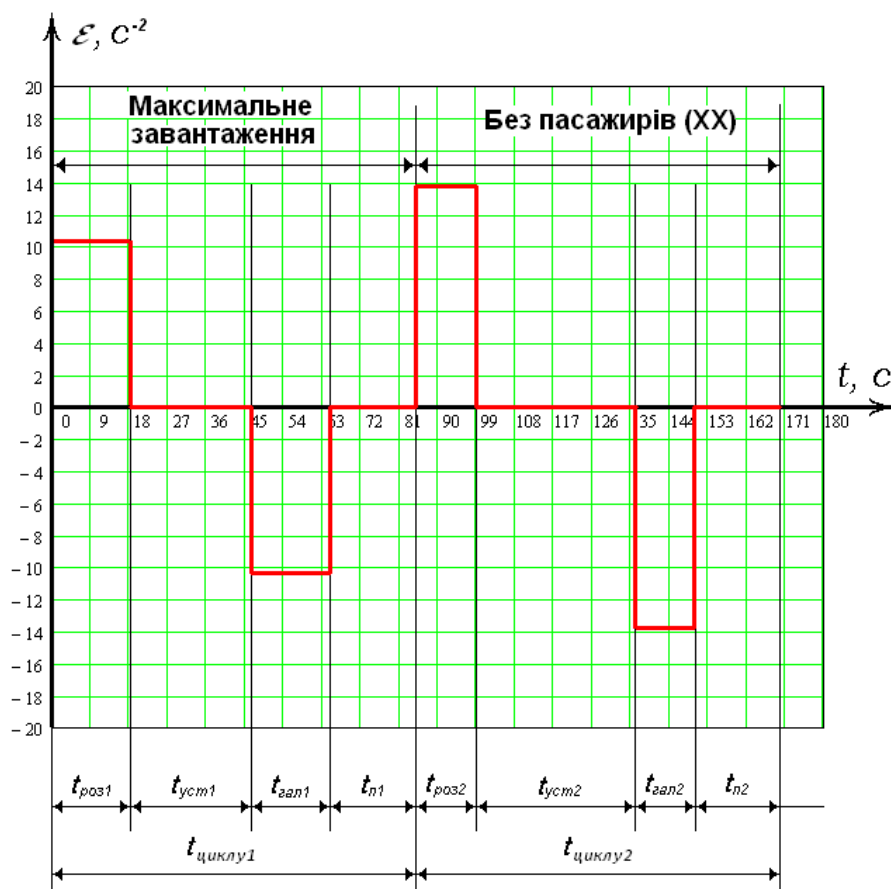


Рисунок 2.2 – Тахограма залежності кутового прискорення ε від часу t

2.2 Розрахунок приведених інерційних мас та моментів інерції

Виходячи з умови вибору двигуна [8]:

$$M_{\text{дв.макс}} \geq M_{\text{оп}}, \quad (2.15)$$

де $M_{\text{дв.макс}}$ – максимальний момент двигуна;

$M_{\text{оп}}$ – сумарний момент опору, що діє на двигун при найбільшому навантаженні.

Сумарний момент опору при максимальному навантаженні складається з статичної та динамічної складової:

$$M_{\text{оп}} = M_{\text{ст.макс}} + M_{\text{дин.макс}}. \quad (2.16)$$

Сили опору які діють на максимально навантажений тролейбус та статичний момент ТЕД приведено на рисунку 4.1

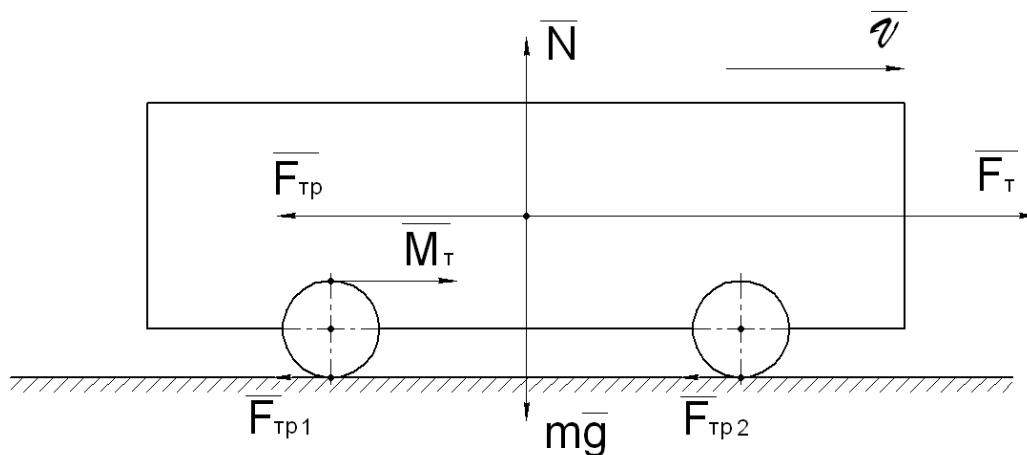


Рисунок 2.3 – Загальне зображення дії кінематичних сил на тролейбус в під час його руху

де N – сила реакції опори;

mg – вага тролейбуса при граничній місткості;

$M_{\text{т}}$ – момент тяги ведучих коліс задньої вісі;

$F_{\text{т}}$ – сила тяги;

F_{TP1} , F_{TP2} – сили тертя, що діють на задню та передню вісь;

$F_{оп}$ – загальна сила опору руху максимально завантаженого тролейбуса.

Статичний момент приведений до валу приводного двигуна визначається за формулою:

$$M_{cm.max} = \frac{M_T}{i \cdot \eta_{пер}}, \quad (2.17)$$

де M_T – момент тяги ведучих коліс;

i – загальне передаточне число, ($i = 9,817$);

$\eta_{пер}$ – ККД передачі, ($\eta = 0,97$).

Тяговий момент ведучих коліс:

$$M_T = F_T \cdot R, \quad (2.19)$$

де R – радіус колеса, ($R = 0,5715$ м).

F_T – сила тяги.

Сили, що діють на тролейбус при його русі на підйом приведено на рисунку 4.2:

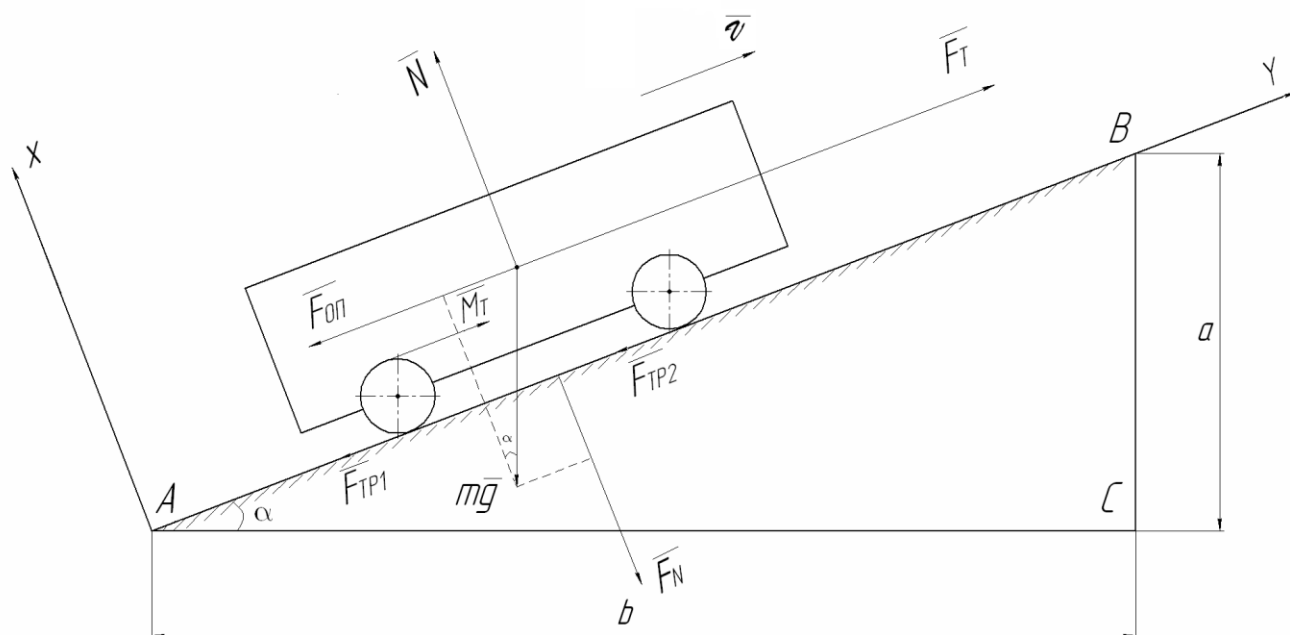


Рисунок 4.2 – Сили, що діють на тролейбус при його русі на підйом

$$\vec{F}_T + \vec{F}_{mp} + \vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}. \quad (2.20)$$

Рівняння руху тролейбуса з врахуванням, що вісь ОХ перпендикулярна до тролейбуса та направлена у напрямку руху:

$$F_T - F_{mp} - mg \cdot \sin \alpha = m\mu g, \quad (2.21)$$

де α – максимально можливий кут підйому;

$F_{тр}$ – сила тертя-ковзання;

m_{max} – маса тролейбуса при максимальному завантаженні;

g – прискорення вільного падіння, ($g = 9,81 \text{ м/сек}^2$).

Запишемо рівняння відносно осі ОУ:

$$\begin{aligned} N - mg \cdot \cos \alpha &= 0, \\ N &= mg \cdot \cos \alpha. \end{aligned} \quad (2.22)$$

Сила тертя:

$$F_{mp} = \mu N, \quad (2.23)$$

де μ - коефіцієнт тертя-ковзання для асфальтних доріг, ($\mu = 0,02$);

Зробивши відповідні підстановки отримуємо формулу для обчислення сили тяги:

$$F_T = m\mu g + \mu mg \cos \alpha + mg \sin \alpha \quad (2.24)$$

$$F_T = mg(\mu + \mu \cos \alpha + \sin \alpha) \quad (2.25)$$

Допустима маса тролейбуса згідно його характеристик складає 18000 кг.
Допустиме відхилення маси в більшу сторону – 3% (18540 кг).

Повна маса тролейбуса[6]:

$$m = m_{cn} + m_n(n + k + d) + m_o(n + k), \quad (2.26)$$

де m_{cn} – маса спорядженого тролейбуса, ($m_{cn} = 11200 \text{ кг}$);

m_n – середня маса одного пасажера, ($m_n = 70 \text{ кг}$);

n – кількість сидячих місць ($n = 30$);

k – кількість стоячих місць ($k = 70$);

d – кількість водіїв, ($d = 1$);

m_6 – маса багажу у одного пасажера, ($m_6 = 2 \text{ кг}$).

$$m = 11200 + 70 \cdot (30 + 70 + 1) + 2 \cdot (30 + 70) = 18470 \text{ (кг)}.$$

При визначенні α беремо максимальний підйом, який повинен долати тролейбус 18%. Тобто тролейбус повинен долати підйом висотою у 18 метрів та протяжністю у 100 метрів.

Тангенс α :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{BC}{AC} = \frac{a}{b} = \frac{18}{100} = 0,18 \cdot 100\% = 18\% \quad (2.27)$$

Звідки визначаємо кут α :

$$\alpha = \arctg \left(\frac{a}{b} \right) = 10,2^\circ \quad (2.28)$$

Сила тяги та тяговий момент ведучих коліс тролейбуса:

$$F_T = 18470 \cdot 9,81 \cdot (0,02 + 0,02 \cdot 0,98 + 0,17) = 13271,39 \text{ (Н)}.$$

$$M_T = 13271,39 \cdot 0,5715 = 7584,6 \text{ (Н)}.$$

Статичний момент приведений до валу електродвигуна:

$$M_{ст. \max} = \frac{7584,6}{9,817 \cdot 0,97} = 796,486 \text{ (Н)}.$$

Динамічна складова визначається виходячи з умови:

$$M_{дин', \max} = J_{\max} \frac{d\omega}{dt}, \quad (2.29)$$

де $J_{\max}$ – загальний момент інерції, приведений до валу електродвигуна при максимальній завантаженості;

$\frac{d\omega}{dt}$ – кутове прискорення під час розгону.

Загальний момент інерції, приведений до валу двигуна при граничному завантаженні:

$$J_{\max} = J_{\partial\partial} + \frac{J_{\epsilon}}{i_{\epsilon}^2} + \frac{J_{\kappa}}{i_{\epsilon}^2 \cdot i_{\eta}^2} + m_{\max} \frac{v^2}{\omega_{\partial\partial}^2}, \quad (2.30)$$

де $J_{дв}$ - момент інерції ТЕД;

J_{Γ} - момент інерції обертових частин головної передачі;

J_{κ} - момент інерції ведучих коліс;

i_{Γ} - передаточне число головної передачі;

i_{κ} - передаточне число колісної передачі;

$\omega_{\text{дв}}$ - кутова швидкість тягового двигуна;

v - швидкість руху.

Момент інерції, що створюється обертовими частинами суттєво менший ніж момент інерції поступального руху тролейбуса. Тому складовими, що відповідають за момент інерції обертових частин можемо знехтувати, врахувавши їх у коефіцієнті запасу.

Тоді момент інерції, приведений до валу електродвигуна:

$$J_{\text{max}} = m_{\text{max}} \frac{v^2}{\omega_{\text{дв}}^2}. \quad (2.31)$$

Кутова швидкість обертання двигуна під час руху з номінальною швидкістю $v = 40$ км/год, враховуючи загальне передаточне число i та радіус колеса R :

$$\omega_{\text{об}} = i \cdot \omega_{\kappa} = i \cdot \frac{v}{R_{\kappa}} = 9,817 \cdot \frac{11,11}{0,5715} = 190,84 \text{ (рад / с)}. \quad (2.32)$$

Момент інерції приведений до валу тягового двигуна:

$$J_{\text{max}} = 18470 \cdot \frac{11,11^2}{190,84^2} = 62,6 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}. \quad (2.33)$$

Кутове прискорення двигуна для розгону:

$$\left(\frac{d\omega}{dt} \right)_p = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega}{t_p} = \frac{190,84}{18,52} = 10,31 \text{ (с}^{-2}\text{)}. \quad (2.34)$$

Динамічний момент під час розгону, для максимального завантаження:

$$M_{\text{дин. max.}} = J_{\text{max}} \cdot \left(\frac{d\omega}{dt} \right)_p = 62,6 \cdot 10,31 = 645,41 \text{ (Н} \cdot \text{м)}. \quad (2.35)$$

Максимальний момент двигуна:

$$M_{\text{дв. max}} = \kappa_3 \cdot (M_{\text{ст. max}} + M_{\text{дин. max}}), \quad (2.36)$$

де коефіцієнт запасу ($k_3 = 1,1 - 1,3$).

$$M_{\text{дв.мах}} = 1,1 \cdot (796,486 + 645,41) = 1586,085 \text{ (Н·м)}, \quad (2.37)$$

$$M_{\text{дв.мах}} = 1,3 \cdot (796,486 + 645,41) = 1680,842 \text{ (Н·м)}. \quad (2.38)$$

Результати отримані за (2.37) та (2.38) показують діапазон моментів регулювання тягового електродвигуна.

Орієнтовне значення максимальної потужності тягового електродвигуна, виходячи з припущення, що двигун асинхронний:

$$P_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{дв.макс}} \cdot n_{\text{дв}}}{9,55}, \quad (2.39)$$

де $n_{\text{дв}}$ – частота обертання магнітного поля статора.

$$n_{\text{дв}} = \frac{60 \cdot f}{p}, \quad (2.40)$$

де f – частота мережі;

p – кількість пар полюсів.

$$n_{\text{дв}} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750 \text{ (об/хв)}.$$

Орієнтована потужність двигуна:

$$P_{\text{дв}} = \frac{1680,842 \cdot 750}{9,55} = 132003 \text{ (Вт)}.$$

2.3 Попередній розрахунок потужності приводного двигуна

Сила, яка оцінює втрати в трансмісії [8]:

$$F_{\text{втр}} = F_{\text{тр}} + k_{\text{тр}} v, \quad (2.41)$$

де $F_{\text{тр}}$ – сила тертя в трансмісії при нульовій швидкості, ($F_{\text{тр}} = 102 \text{ Н}$);

$k_{\text{тр}}$ – коефіцієнт врахування впливу швидкості на силу тертя, ($k_{\text{тр}} = 11$).

$$F_{\text{втр}} = 102 + 11 \cdot 11,11 = 224,21 \text{ (Н)}.$$

Втрати потужності в трансмісії під час вибігу:

$$\Delta P_{\text{тр1}} = F_{\text{втр}} v, \quad (2.42)$$

$$\Delta P_{mp1} = 224.21 \cdot 11.11 = 2490.9731 \text{ (Вт)}.$$

Втрати потужності в трансмісії в режимі тяги:

$$\Delta P_{mp2} = (1 - \eta_{\zeta} \cdot \eta_{\gamma} \cdot \eta_{\mu}) P_{\partial\partial} + \Delta P_{mp1}, \quad (2.43)$$

де η_{ζ} – коефіцієнт корисної дії циліндричної передачі, ($\eta_{\zeta} = 0.98$);

η_{γ} – коефіцієнт корисної дії гіпоїдної передачі, ($\eta_{\gamma} = 0.97$);

η_{μ} – коефіцієнт корисної дії гіпоїдних шарнірів, ($\eta_{\mu} = 0.995$);

$P_{\partial\partial}$ – орієнтовна потужність двигуна, ($P_{\partial\partial} = 132003 \text{ Вт}$).

$$\Delta P_{mp2} = (1 - 0.98 \cdot 0.97 \cdot 0.995) \cdot 132003 + 2490.9731 = 9639.3 \text{ (Вт)}.$$

Коефіцієнт корисної дії трансмісії:

$$\eta_{mp} = \eta_{\zeta} \cdot \eta_{\gamma} \cdot \eta_{\mu} - \frac{\Delta P_{mp2}}{P_{\partial\partial}}, \quad (2.44)$$

$$\eta_{mp} = 0.98 \cdot 0.97 \cdot 0.995 - \frac{9639.3}{132003} = 0.873.$$

Потужність, яку розвиває електродвигун при граничній завантаженості:

$$P_1 = \frac{V}{\eta_{mp}} (g \cdot m \cdot \psi_{\partial} + k_{\text{нов}} A_{\text{нов}} V^2), \quad (2.45)$$

де g – прискорення вільного падіння, ($g = 9.81 \text{ м/с}^2$);

ψ_{∂} – коефіцієнт опору дороги, ($\psi_{\partial} = 0.038$);

$k_{\text{нов}}$ – коефіцієнт опору повітря, ($k_{\text{нов}} = 0.02$);

$A_{\text{нов}}$ – площа лобового скла, ($A_{\text{нов}} = 8 \text{ м}^2$);

$$P_1 = \frac{11.11}{0.873} \cdot (9.81 \cdot 20875 \cdot 0.038 + 0.02 \cdot 8 \cdot 123,432) = 99.284 \text{ (кВт)}.$$

Потужність, яку розвиває електродвигун при відсутності пасажирів:

$$P_2 = \frac{V}{\eta_{mp}} (g \cdot m_{\text{сн}} \cdot \psi_{\partial} + k_{\text{нов}} A_{\text{нов}} V^2), \quad (2.46)$$

$$P_2 = \frac{11.11}{0.873} (9.81 \cdot 11500 \cdot 0.038 + 0.02 \cdot 8 \cdot 123,432) = 54.808 \text{ (кВт)}.$$

Враховуючи коефіцієнт запасу потужність тягового двигуна:

$$P = k_{\text{зан}} \cdot P_1, \quad (2.47)$$

де $k_{зан}$ – коефіцієнт запасу потужності двигуна, ($k_{зан} = 1.1$).

$$P = 1.1 \cdot 99.284 = 109.212 \text{ (кВт)}.$$

Висновок. Було розраховано потужність тягового електродвигуна троллейбуса з врахуванням сил, що діють на нього під час руху. Побудовано навантажувальну діаграму.

З ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Розглянемо можливі варіанти тягових електродвигунів для тролейбусів.

Тягові електричні двигуни постійного струму послідовного збудження – ці двигуни встановлювалися на перших тролейбусах і забезпечували значне тягове зусилля завдяки високому пусковому моменту. Вони мають високий момент обертання при низьких швидкостях, що робить їх підходящими для пуску важких транспортних засобів.

Тягові електричні двигуни постійного струму змішаного збудження – ці двигуни поєднують у собі переваги послідовного та паралельного збудження, що дозволяє досягати кращих експлуатаційних характеристик. Порівняльна простота управління робить їх зручними для використання в тролейбусах. Завдяки змішаному збудженню, ці двигуни забезпечують стабільний та ефективний рух на різних швидкостях і під різними навантаженнями.

Асинхронні тягові електричні двигуни – головними перевагами цих двигунів є їхня простота конструкції та компактні розміри. Завдяки відсутності щітково-колекторного вузла, асинхронні двигуни позбавлені багатьох недоліків колекторних двигунів, таких як знос щіток та елементів колектора, іскріння і перегрів при поганому контакті. Це значно знижує потребу в обслуговуванні та підвищує надійність і довговічність двигуна. Асинхронні двигуни також мають високий коефіцієнт корисної дії та стабільні характеристики, що робить їх популярними для використання у сучасних тролейбусах.

Для управління тяговими електродвигунами можуть застосовуватися такі системи управління.

Реостатно-контакторна система керування з безпосередньою комутацією опорів у колах двигуна, з використанням проміжного низьковольтного обладнання, яке комутує сигнали, що керують силовими контакторами та з використанням проміжних серводвигунів, які комутують струм у силовому колі двигуна.

Тиристорно-імпульсна система керування, яка використовує потужні тиристири для формування струмових імпульсів заданої частоти, замість комутації опорів.

Електронна система керування (транзисторна), яка дозволяє суттєво зменшити споживання електроенергії порівняно з реостатною системою.

Вибирати електродвигун та систему керування будемо на основі [9]:

- 1) річних затрат на впровадження і обслуговування електроприводу;
- 2) надійність електроприводу.

3.1 Розрахунок системи ПЧ-АД

Капітальні затрати:

$$K = D + C, \quad (3.1)$$

де D – вартість двигуна;

C – вартість системи керування.

$$K = 250000 + 221000 = 471000 \text{ (грн.)}$$

Річні капітальні затрати:

$$K_p = 0,27 \cdot K, \quad (3.2)$$

$$K_p = 0,27 \cdot 471000 = 127170 \text{ (грн./рік)}.$$

Додаткові витрати (B), що залежать від кількості робочих змін та режиму роботи.

Час роботи механізму за рік:

$$t_{\text{рік}} = d \cdot z \cdot t, \quad (3.3)$$

де d – кількість робочих днів ($d = 250$);

z – кількість змін ($z = 2$);

t – кількість робочих годин в день ($t = 8$).

$$t_{\text{рік}} = 250 \cdot 2 \cdot 8 = 4000 \text{ (год)}.$$

Час роботи з урахуванням $TB = 40\%$:

$$t_{TB} = t_{\text{рік}} \cdot TB, \quad (3.4)$$

$$t_{TB} = 4000 \cdot 0,40 = 1600 \text{ (год)}.$$

Визначимо час роботи в перехідних режимах який приймемо рівним 25% від t_{TB} :

$$t_{\text{ПП}} = t_{TB} \cdot 0,25, \quad (3.5)$$

$$t_{\text{ПП}} = 1600 \cdot 0,25 = 400 \text{ (год)}.$$

Прийнявши потужність електродвигуна $P_{\text{ном}} = 100$ кВт і враховуючи вартість одного кВт потужності $c = 7,7714$ грн/кВт визначимо додаткові втрати:

$$B = t_{\text{ПП}} \cdot P \cdot c, \quad (3.6)$$

$$B = 400 \cdot 100 \cdot 7,7714 = 308560 \text{ (грн./рік)}.$$

Приведені затрати на спорудження електропривода:

$$З = K_p + B + E, \quad (3.7)$$

де E – експлуатаційні витрати (15600 грн./рік).

$$З = 127170 + 308560 + 156000 = 591730 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на впровадження електроприводу при використанні ДПС і при використанні АД. Для визначення вартості електроприводу скористаємось з довідниковими даними.

Результати розрахунків приведено у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 - Вартість системи електроприводу і приведені річні затрати [9], [10]

Система ЕП Показники	ШПП- ДПС	РКСК- ДПС	ПЧ-АД	ТРН-АД
Вартість двигуна, грн	420000	420000	250000	250000
Вартість САК, грн	213000	253000	221000	238650
Капітальні затрати, грн	633000	673000	471000	488650
Річні капітальні затрати, грн	170910	181710	127170	131940
Експлуатаційні затрати, грн	156000	156000	156000	156000
Додаткові витрати, грн	30856	30856	30856	30856
Приведені витрати, грн	635470	646270	591730	596590
ВСЬОГО, грн	96847	91927	862730	885240

Висновок. Для електропривода тролейбуса найбільш вигідним варіантом є застосування системи “Перетворювач частоти – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором”.

4 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ТА ЙОГО ПЕРЕВІРКА

Вибираємо електродвигун [10], виходячи із заданої швидкості обертання і попереднього розрахунку його потужності, параметри вибраного двигуна наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1- Параметри тягового двигуна

Тип двигуна	A 280S4
Потужність $P_{\text{ном}}$, кВт	110
ККД, %	94
$\cos\varphi$	0,82
Номінальна напруга, В	220/380
Маса, кг	1175
Максимальний момент M_{max} , Н·м	2600
Фазна напруга ротора $U_{2\text{ф}}$, В	248
Струм ротора I_2 , А	154
Струм статора I_1 , А	147
Кількість обертів $n_{\text{ном}}$, об/хв	750
Момент інерції $J_{\text{де}}$, кг·м ²	5,25
Номінальний момент $M_{\text{ном}}$, Н·м	1500,8

4.1 Перевірка вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску

Перевіримо вибраний електродвигун по нагріву за методом еквівалентного моменту [11], що ґрунтується на пропорційній залежності еквівалентного моменту та кількості теплоти, яка виділяється в двигуні.

Еквівалентний момент двигуна:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{\sum (M_i^2 \cdot t_i)}{t_{\text{ц}}}}, \quad (4.1)$$

$$M_{\text{екв}} = 516.337 \text{ (Н·м)}.$$

Обчислюємо номінальний момент двигуна:

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \frac{P}{n}, \quad (4.2)$$

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \frac{110000}{750} = 1400,7 \text{ (Н·м)}.$$

Еквівалентний момент має бути меншим номінального:

$$M_{\text{ном}} > M_{\text{екв}}, \quad (4.3)$$

$$1400,7 > 516.337 \text{ (Н·м)}.$$

Умова нагріву виконується, отже двигун обрано вірно.

Перевіримо електродвигун за умовою допустимого перевантаження.

Повинна виконуватися умова:

$$\lambda \cdot M_{\text{ном}} > M_{\text{пвх}}, \quad (4.4)$$

де $M_{\text{пвх}}$ – максимальний статичний момент на валу двигуна, $M_{\text{пвх}} = 715,857 \text{ Н·м}$;

λ – перевантажувальна здатність двигуна, ($\lambda = 2.5$).

$$3501,75 > 1680,482 \text{ (Н·м)}.$$

За умовою допустимого короточасного перевантаження двигун вибрано.

Висновок. Був вибраний приводний асинхронний двигун типу А 280S4 для системи електроприводу. Перевірка обраного двигуна за нагрівом і перевантаженням показала, що електродвигун вибрано вірно.

5 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Необхідно створити систему керування, яка здатна підтримувати швидкість руху тролейбуса на заданому рівні, а також контролювати струм двигуна. Для забезпечення руху тролейбуса використовується асинхронний двигун (АД). Регулювання швидкості цього двигуна здійснюється шляхом зміни частоти напруги електромережі. Система частотного керування асинхронним двигуном є підпорядкованою і складається з двох контурів: внутрішнього контуру струму та зовнішнього контуру швидкості. [12]

Внутрішній контур струму відповідає за контроль струму тягового двигуна, забезпечуючи стабільну роботу та захист від перевантажень. Зовнішній контур швидкості регулює швидкість обертання двигуна, підтримуючи її на необхідному рівні, при змінних умовах руху та навантаженнях. Така підпорядкована структура управління дозволяє досягнути високої точності та надійності у функціонуванні системи.

Дана система керування має можливість адаптивного налаштування, що дозволяє їй ефективно реагувати на зміни в експлуатаційних умовах і забезпечувати оптимальні режими роботи електро двигуна в різних ситуаціях. Це сприяє підвищенню загальної ефективності та економічності експлуатації тролейбуса.

Внутрішній контур струму зображена у вигляді структурної схеми на рисунку 5.1.

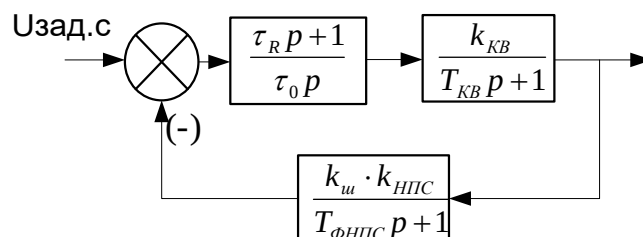


Рисунок 5.1 – Структурна схема контуру струму

В якості ПІ-регулятора обираємо пропорційно-інтегральну ланку з великою сталою часу τ_R та малою некомпенсованою – τ_0 .

Керований випрямляч має певний коефіцієнт передачі k_{KB} та затримку часу T_{KB} , зумовлену наявністю реактивних елементів.

Контур зворотного зв'язку за струмом має також коефіцієнт передачі $k_{ш} \cdot k_{нпс}$ по напрузі та запізнення, зумовлене наявністю електричних фільтрів.

Контур швидкості приведено у вигляді структури, зображеної на рис. 5.2.

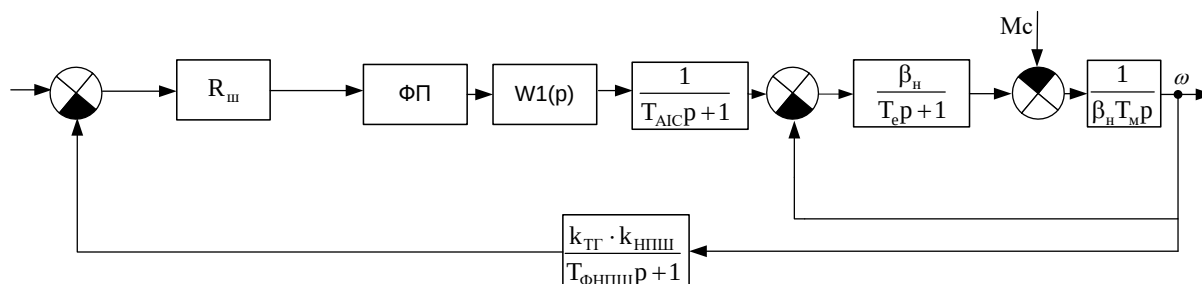


Рисунок 5.2 – Структурна схема контуру швидкості

В цьому випадку внутрішній контур струму зведено в один блок $W1(p)$. Аналогічно певну затримку часу T_{AIC} має автономний інвертор струму та контур зворотного зв'язку. Крім того, сигнал керування КВ подається з виходу функціонального перетворювача ФП, який забезпечує сталість співвідношення $U/f = \text{const}$. Регулятор, поки що представлений умовним позначенням $R_{ш}$, а детальну його будову розглянемо пізніше. Схема електрична структурна системи електропривода наведена на рисунку 5.3.

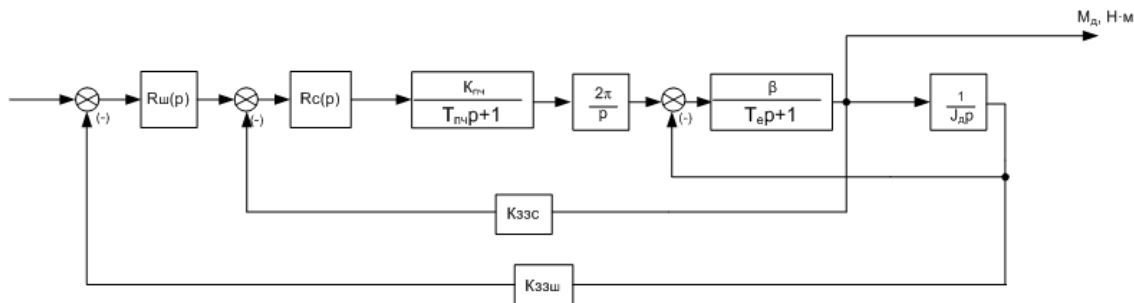


Рисунок 5.3 – Схема електрична структурна системи електропривода

Динаміка електроприводу зумовлена зміною задаючого сигналу та збурення, інтегральними та аперіодичними складовими передаточних функцій двигуна, керованого випрямляча, автономного інвертора струму та кіл зворотного зв'язку за швидкістю та струмом.

Електромагнітна постійна часу двигуна:

$$T_e = \frac{1}{\omega_0 \cdot s_k}, \quad (5.1)$$

$$T_e = \frac{1}{314 \cdot 0,37} = 0,008(\text{с}).$$

Механічна стала часу:

$$T_m = \frac{J_{\text{дв}}}{\beta_H}, \quad (5.2)$$

$$T_m = \frac{0,0018}{0,41} = 0,004(\text{с}).$$

Стала часу керованого випрямляча:

$$T_{\text{КВ}} = \frac{1}{2 \cdot m \cdot f_1}, \quad (5.3)$$

$$T_{\text{КВ}} = \frac{1}{2 \cdot 6 \cdot 50} = 1,67(\text{мс}).$$

Постійна часу автономного інвертора:

$$T_{\text{АІС}} = 2 \cdot T_{\text{КВ}}, \quad (5.4)$$

$$T_{\text{АІС}} = 2 \cdot 1,67 = 3,34(\text{мс}).$$

За передаточну функцію функціонального перетворювача візьмемо параболу, вершина якої піднята відносно нульового рівня на 1 в. од., що

відповідає величині задаючого струму, який задає струм двигуна рівний номінальному.

На рисунку 5.4 зображена структурна схема системи керування асинхронного електроприводу тролейбуса, оснащеного тяговим асинхронним двигуном.

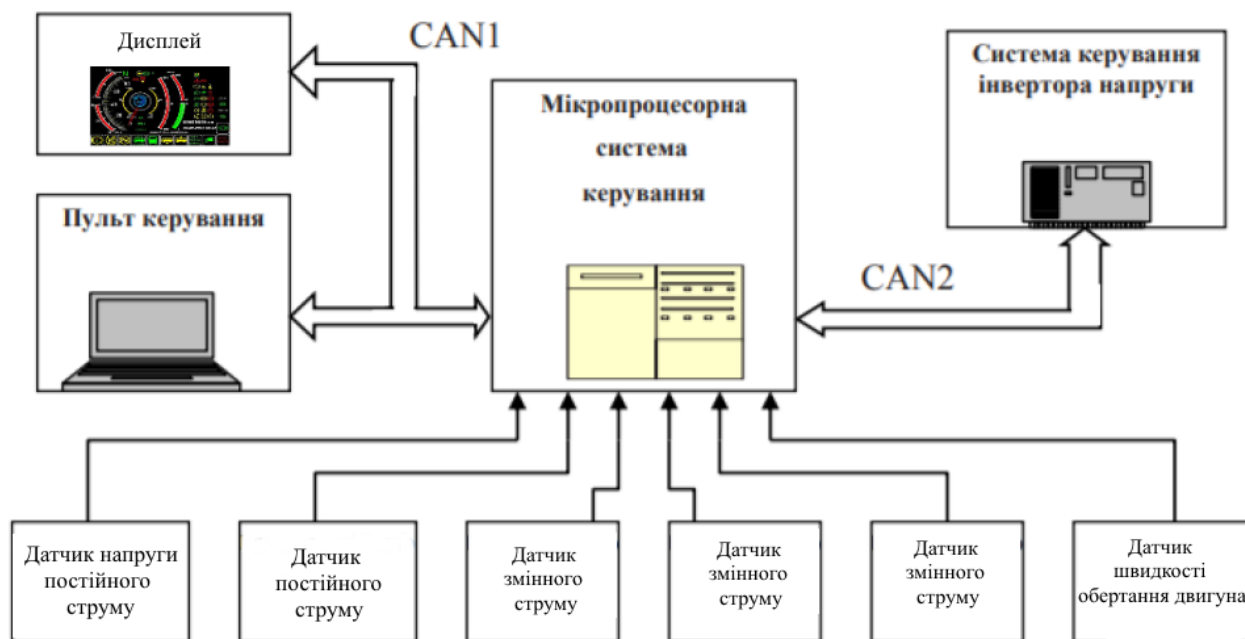


Рисунок 5.4 – Структурна схема системи електроприводу

До складу системи керування електроприводом входять такі компоненти: пульт керування, мікропроцесорна система керування, системи керування інвертором напруги, датчик постійної напруги, датчик постійного струму, датчики змінного струму по числу фаз тягового асинхронного двигуна, датчик обертів електродвигуна та дисплей.

Мікропроцесорна система керування забезпечує обробку та аналіз сигналів від датчиків, а також формування керуючих впливів для підтримки стабільної роботи двигуна. Система керування інвертором напруги відповідає

за перетворення постійної напруги в змінну, необхідну для живлення асинхронного двигуна.

Датчики постійної напруги та струму здійснюють контроль параметрів електричного живлення, забезпечуючи захист системи від перевантажень і несправностей. Датчики змінного струму, розташовані по фазах ТАД, дозволяють точно контролювати струми в обмотках двигуна.

Інтеграція мікропроцесорної системи дозволяє здійснювати точне управління та моніторинг роботи всіх компонентів електроприводу, що забезпечує оптимальні робочі характеристики і підвищує ефективність використання енергетичних ресурсів. Дисплей, встановлений на пульті керування, надає оператору можливість в режимі реального часу контролювати основні параметри роботи системи, що полегшує управління і діагностику можливих несправностей.

Висновок. Розроблено структурну схему електропривода тролейбуса.

6 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА РОЗРАХУНОК І ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ КОЛА УПРАВЛІННЯ

6.1 Визначення і опис конструкції перетворювального агрегату

При сучасному рівні силової напівпровідникової техніки, тяговий перетворювач на тролейбусі став його головною частиною, оскільки саме його параметри та показники визначають властивості тягового приводу в цілому, такі як діапазон регулювання, плавність, якісні показники у перехідному процесі та ін.

Перетворювач призначений для живлення тягового електродвигуна (ТЕД) тролейбуса при роботі як у режимі тяги, так і в режимі електричного рекуперативного або реостатного гальмування на ділянках тягової мережі, електрифікованих постійною напругою 550В. В залежності від конструктивного виконання, тягові перетворювачі бувають різних типів. Найпоширенішими видами тягових перетворювачів є трифазні перетворювачі (інвертори) за схемою Ларіонова («три паралельних напівмости») на тиристорних ключах (GTO) або на транзисторних ключах (IGBT), що прийшли на зміну приводів з реостатним регулятором. Також існують тягові перетворювачі для двигунів постійного струму, що з часом відходять на другий план, поступаючись ТП для керування двигунами змінного струму, тому що вони є вигіднішими, менш габаритнішими та ефективнішими в більшості випадків. Тяговий перетворювач має вигляд, приведений на рисунках 6.1 та 6.2.



Рисунок 6.1 – Зовнішній вигляд тягового перетворювача з блоком індикації та блоком автономного ходу



Рисунок 6.2 – Вигляд внутрішньої частини тягового перетворювача

Перетворювач частоти забезпечує плавний пуск і зупинку двигуна, а також дозволяє змінювати напрям обертання двигуна.

Перетворювач частоти відображає на цифровому дисплеї основні параметри системи: задану швидкість, вихідну частоту, струм і напругу

двигуна, вихідну потужність, момент, стан дискретних входів, загальний час роботи перетворювача тощо.

Керування перетворювачем частоти можна здійснювати з вбудованої виносної цифрової панелі керування, або за допомогою зовнішніх сигналів. У другому випадку швидкість обертання задається аналоговим сигналом 0—10 В або 4—20 мА, а команди пуску, зупинки й зміни режимів обертання подаються дискретними сигналами. Можна відображати параметри системи у вигляді графіків на виносній графічній панелі керування.

Існує можливість управління перетворювачем частоти через послідовний інтерфейс (RS-232, RS-422 або RS-485) або від зовнішнього ПЛК з використанням спеціального протоколу (Profibus, Interbus, Device-net, Modbus тощо).

Економічний ефект від впровадження асинхронного електроприводу складається, зокрема, з чинників:

1) економія електроенергії в насосах, вентиляторах і компресорних агрегатах до 50 % за рахунок регулювання продуктивності шляхом зміни частоти обертання електродвигуна на відміну від регулювання продуктивності іншими способами (дроселювання, увімкнення-вимкнення, напрямний апарат);

2) підвищення якості продукції;

3) збільшення обсягу продукції, що випускається, і продуктивності виробничого устаткування;

4) зниження зносу механічних ланок і збільшенню терміну служби технологічного устаткування унаслідок поліпшення динаміки роботи електроприводу.

6.2 Визначення, опис і вибір силового модуля

6.2.1 IGBT-транзистори

Біполярні транзистори з ізолюваним затвором скорочено називаються англійською IGBT, являють собою гібрид біполярного транзистора і польового транзистора з ізолюваним затвором (ПТІЗ). При подачі на затвор напруги, додатньої відносно точки емітера, IGBT відкривається і починає проходити струм від точки С через емітерно-базовий перехід біполярного транзистора і відкритий ПТІЗ до точки Е. При цьому відкривається біполярний транзистор, через який проходить струм від точки С до точки Е. Буквами Е, С, G позначені емітер, колектор і затвор.

. На рисунках 6.3 та 6.4 приведено умовні позначення IGBT [17].



Рисунок 6.3 – Умовне позначення IGBT

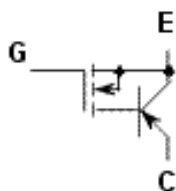


Рисунок 6.4 – Схема з'єднання транзисторів в єдиній структурі IGBT

Біполярний транзистор з ізолюваним затвором (IGBT – Insulated-gate bipolar transistor) був створений у результаті досліджень, проведених 80-х роках 20 століття, шляхом каскадного включення в одній структурі BJT та MOSFET. Метою цих досліджень було нівелювати основні недоліки біполярного (керування струмом) та польового (великий спад напруги у відкритому стані

для потужних приладів) транзисторів, що гальмувало розвиток перетворювальної техніки.

IGBT є складним напівпровідниковим приладом, виготовленим в одній структурі та має три виводи затвор, колектор та емітер.

По суті цей тип транзистора є MOSFET у колі керування і BJT у силовому колі. Це дозволило спростити схему і зменшити витрати керування у порівнянні з біполярними та дало змогу виготовити керовані напругою прилади на значно вищій класі напруг, ніж польові транзистори.

Таким чином, IGBT має три зовнішні виведення: емітер, колектор, затвор. З'єднання емітера і стоку (D), бази та витoku (S) є внутрішніми. Поєднання двох приладів в одній структурі дозволило об'єднати гідності польових і біполярних транзисторів: високий вхідний опір з високою струмовим навантаженням і малим опором у включеному стані.

Схематичний розріз структури IGBT зображений на рисунку 6.5. Біполярний транзистор утворений шарами p^+ (емітер), n (база), p (колектор); польовий - шарами n (джерело), n^+ (сток) і металевою пластиною (затвор). Шари p^+ і p мають зовнішні висновки, що включаються в силовий ланцюг. Затвор має висновок, що включається в ланцюг управління. На рис. 6.5 зображено структура IGBT IV покоління, виконаного за технологією "втопленого" каналу (trench-gate technology), що дозволяє виключити опір між p -базами і зменшити розміри приладу в кілька разів.

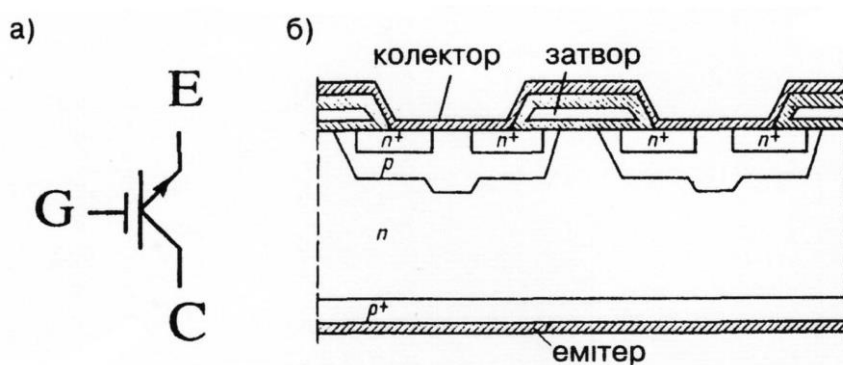


Рисунок 6.5 – Схематичний розріз структури IGBT

При роботі в ключовому режимі IGBT також мають деякі спільні властивості як з польовим, так і біполярним транзисторами. Їх ілюструють часові діаграми, подані на рис. 6.6.

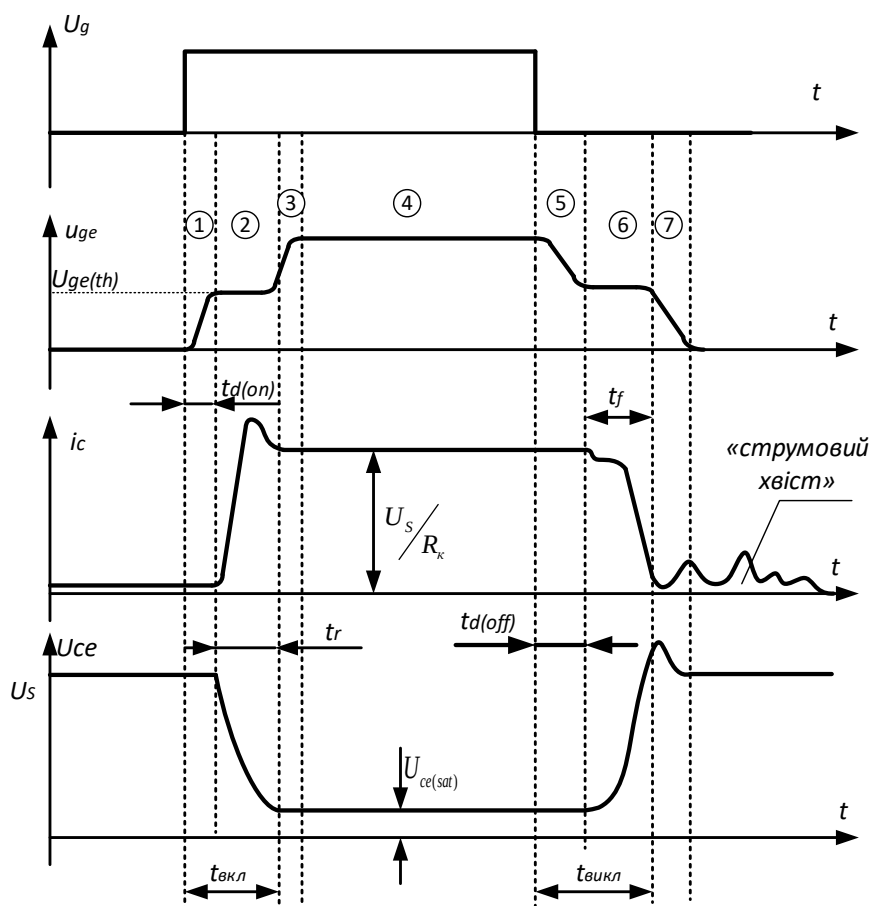


Рисунок 6.5 – Часові діаграми IGBT в ключовому режимі

У відкритому стані IGBT має аналогічні біполярному транзисторі властивості: незначне падіння напруги $U_{ce(sat)}$ при широкому діапазоні значень струму колектора.

Ділянка 1. При подачі напруги керування на затвор через резистор R_g починає заряджатись паразитна ємність C_{ge} . При цьому струм колектора та напруга колектор-емітер залишаються незмінними протягом часу затримки включення (turn-on delay time) $t_{d(on)}$.

Ділянка 2. При досягненні напруги U_{ge} певного значення $U_{ge(th)}$ транзистор починає відкриватись, струм I_c зростає, а напруга U_{ce} зменшується, у той час, як напруга U_{ge} під дією ефекту Міллера, що значно збільшує вхідну ємність, залишається незмінною протягом часу наростання (rise time) t_r струму колектора.

Ділянка 3, на якій відбувається дозаряд вхідної ємності до напруги U_{g}

Ділянка 4 відповідає відкритому стані транзистора, яка характеризується невеликим значенням напруги насичення $U_{ce(sat)}$ IGBT.

Ділянка 5. Після того як напруга керування зменшується до нуля відбувається затримка вимкнення (turn-off delay time) $t_d(off)$ внаслідок перезаряду ємності C_{ge} .

Ділянка 6, на якій відбувається наростання напруги U_{ce} , а струм колектора після невеликої затримки, пов'язаної з розсмоктуванням зарядів у базовому прошарку починає зменшуватись (час спаду (fall time) t_f). Але при цьому процес вимкнення не завершується

Ділянка 7. В базовому прошарку відбуваються складні внутрішні процеси рекомбінації носіїв заряду, що супроводжується неперіодичними коливаннями струму колектора. Цей процес має назву «струмового хвоста» й значним чином збільшує час та втрати енергії вимкнення. При чому цей процес продовжується деякий час і після того як напруга U_{ge} зменшиться до нуля.

Область безпечної роботи IGBT дозволяє успішно забезпечити його надійну роботу без застосування додаткових ланцюгів формування траєкторії перемикання при частотах від 10 до 20 кГц для модулів з номінальними струмами в кілька сотень ампер. Такими якостями не мають біполярні транзистори, сполучені за схемою Дарлінгтона. Так само як і дискретні, MOSFET витіснили біполярні в ключових джерелах живлення з напругою до 500 В, так і дискретні IGBT роблять те ж саме в джерелах з більш високими напругами (до 3500 В).

6.2.2 IGBT-модулі. Внутрішня конструкція

В даний час транзистори IGBT випускаються, як правило, у вигляді модулів в прямокутних корпусах з одностороннім притиском і охолодженням ("Mitsubishi", "Siemens", "Semikron" та ін) і пігулки виконанні з двостороннім охолодженням ("Toshiba Semiconductor Group") . Модулі з одностороннім охолодженням виконуються в міцному пластмасовому корпусі з паяними контактами та ізолюваною підставою. Всі електричні контакти знаходяться у верхній частині корпусу. Відведення тепла здійснюється через підставу. Типова конструкція модуля в прямокутному корпусі показана на рис.6.7.

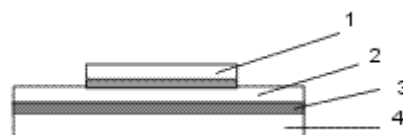


Рисунок 6.7 – Типова конструкція IGBT-модулі: 1 - кристал; 2 - шар кераміки; 3 - спайка; 4 - нижнє тепловиводячі підставу

Струм управління IGBT малий, тому ланцюг управління - драйвер конструктивно компактна. Найбільш доцільно розташовувати ланцюга драйвера в безпосередній близькості від силового ключа. У модулях IGBT драйвери безпосередньо включені в їх структуру. "Інтелектуальні" транзисторні модулі (ITM), виконані на IGBT, також містять "інтелектуальні" пристрою захисту від струмів короткого замикання, системи діагностування, що забезпечують захист від зникнення керуючого сигналу, одночасної провідності в протилежних плечах силової схеми, зникнення напруги джерела живлення та інших аварійних явищ. У структурі ITM на IGBT передбачається в ряді випадків система управління з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) і однокристална ЕОМ. У багатьох модулях є схема активного фільтра для корекції коефіцієнта потужності і зменшення вмісту вищих гармонійних в живильній мережі.

IGBT-модуль по внутрішній електричній схемою може представляти собою одиничний IGBT, подвійний модуль (half-bridge), де два IGBT з'єднані послідовно (напівміст), реле (chopper), в якому одиничний IGBT послідовно з'єднаний з діодом, однофазний або трифазний міст. У всіх випадках, крім переривника, модуль містить паралельно кожному IGBT вбудований зворотний діод. Найбільш поширені схеми з'єднань IGBT-модулів наведено на рис. 6.8.

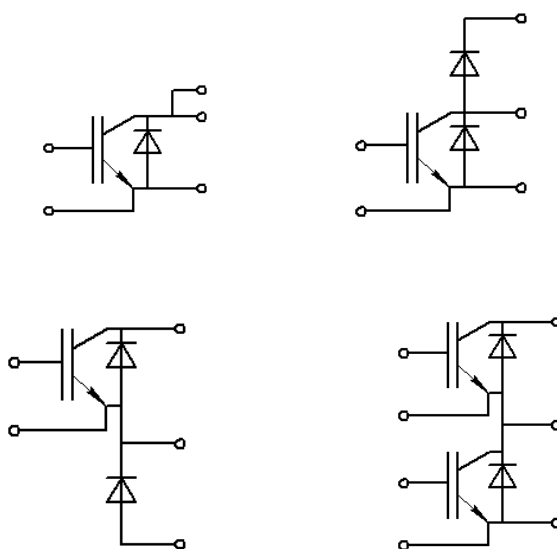


Рисунок 6.8 - Схеми IGBT-модулів

Сучасні IGBT-модулі знаходять сьогодні широке застосування при створенні некерованих і керованих випрямлячів, автономних інверторів для живлення двигунів постійного і змінного струму середньої потужності, перетворювачів індукційного нагріву, зварювальних апаратів, джерел безперебійного живлення, побутової та студійної техніки.

6.2.3 Інтелектуальні силові IGBT-модулі

Особливої уваги заслуговують інтелектуальні силові IGBT-модулі, які мають високий рівень інтеграції завдяки наявності наступних вбудованих функцій:

- захист по струму;
- захист від КЗ;

- захист від пониженої напруги;
- захист по температурі;
- гальмівний транзистор;
- захист від замикання позитивного та від'ємного виводів.

Сучасний інтелектуальний силовий модуль, або IPM (INTELLIGENT POWER MODULE) — це гібридний модуль, що містить швидкісні IGBT-транзистори, з'єднані в визначеній конфігурації, схему управління, оптимізовану по характеристикам управління затвору для даних транзисторів, схему захисту від перевантажень і схему індикації стану. Для надійної роботи модуля схема захисту повинна вміти аналізувати режим перевантаження по струму (overload), режим короткого замикання навантаження (SC — short circuit), режим пробоя (breakdown), а також падіння напруги управління (UVLO — Under Voltage LockOut) та перегрів (overheat) [18]. Усе це вже присутнє в самому інтелектуальному модулі, що являється його якісною перевагою перед звичайним IGBT-модулем із розробленою схемою до нього, що забезпечить виконання всіх вищеописаних параметрів.

Вартість IPM у всіх випадках виявляється вище, ніж вартість набору дискретних комплектуючих, що взмозі вирішити ту ж задачу. Однак підвищення надійності, спрощення процесу зборки, зниження масо-габаритних показників без сумніву варті того, щоб використовувати в своїй розробці саме інтелектуальний силовий модуль.

Інтелектуальні силові модулі (IPM) поєднують в одному пристрої силовий ключ (одиничний, напівмостовий або 3-фазний мостовий), драйвер, оптимізований по сигналам керування, і пристрій захисту. Мінімальні довжини ліній зв'язку дозволяють отримати низькі значення розподілених індуктивностей, що зменшує рівень перехідних перенавантажень і рівень ЕМІ. Хороший тепловий зв'язок елементів кристала підвищує надійність роботи схеми захисту.

IPM представляють собою багатошарову конструкцію з епоксидною ізоляцією (в малопотужних модулях) або керамічною ізоляцією (в модулях середньої і великої потужності). Мідні лінії зв'язку елементів модуля напиляються безпосередньо на ізолятор, що виключає пайку. Елементи схеми управління розміщені на печатній платі, котра встановлюється безпосередньо на силовий модуль. Ця плата також являється багатошаровою і зазвичай має спеціальний екран для підвищення стійкості до ЕМІ. Один із варіантів конструкції IPM показаний на рис. 6.9.

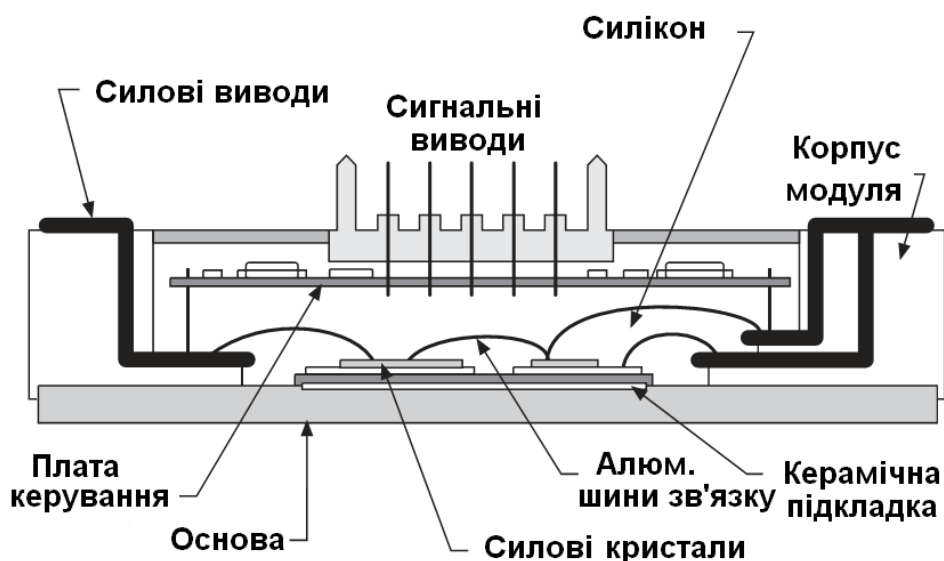


Рисунок 6.9 – Приклад конструкції IPM

Область безпечної роботи (ОБР або SOA — safe operating area) визначає допустимі поєднання струмів та напруг, при яких не порушується безпечна робота модуля. Тому бажано, щоб схема захисту обмежувала режими не по граничному струмі, а по параметрах області безпечної роботи. IPM мають вбудовані ланцюги керування та захисту, що дозволяє підвищити надійність функціонування порівняно зі звичайними модулями.

Для IPM зазвичай задається 2 види області безпечної роботи — ОБР для режиму короткого замикання (Short Circuit SOA — SCSOA) і ОБР для імпульсного режиму (Switching SOA — SSOA). SSOA задає обмеження на струм і напругу, одночасно діючи на модуль при вимкненні. В IPM, як правило,

виключені велика кількість недопустимих поєднань за рахунок алгоритму роботи драйвера і налаштування схеми захисту. Тому безпечним для ІРМ вважається режим, коли напруга живлення не перевищує визначеного для модуля напруги джерела живлення (V_{CC}), а перенапруга при вимкненні не перевищує граничного значення напруги колектор-еміттер (V_{CES}).

При короткому замиканні в схемі з нульовим імпедансом джерела живлення струм КЗ визначається тільки характеристиками силового ключа. SCSOA гарантує безпечну роботу в однократному режимі КЗ при напрузі живлення нижче значення V_{CC} , при перенапрузі в колі колектор-еміттер кожного модуля, меншим V_{CES} , і температурі кристала нижче $125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Термін «однократний режим КЗ» має на увазі, що кількість коротких замикань обмежена (приводиться в технічних характеристиках) і час між КЗ значно більший теплового постійного часу кристала.

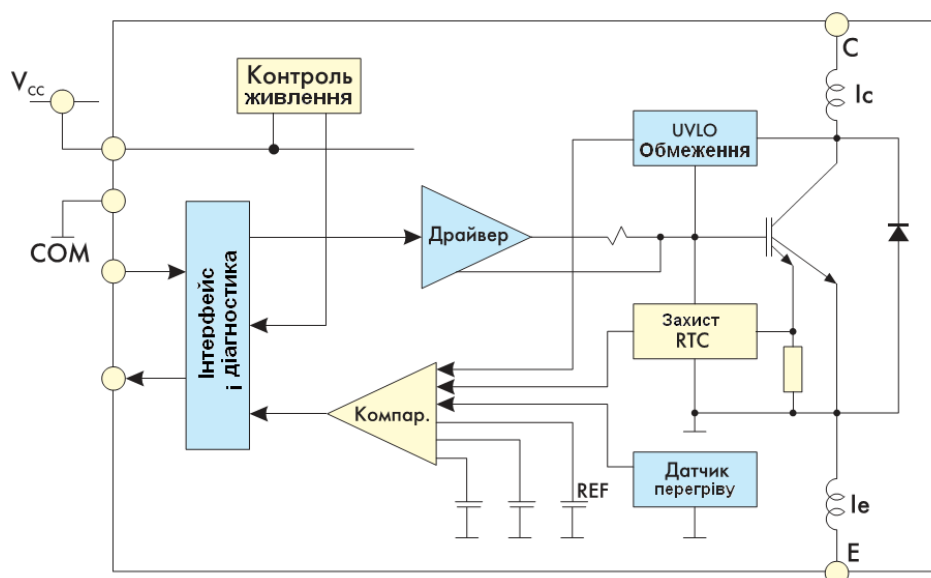


Рис. 6.10 – Типова структурна схема одиничного інтелектуального модуля

Як і звичайні IGBT-транзистори, ІРМ не призначені для роботи в лінійному режимі. Вбудований драйвер ІРМ виключає будь-яку можливість лінійного режиму роботи, відключаючи силовий транзистор при підвищенні

напруги насичення вище допустимого рівня. На рисунку 6.10 приведена типова структурна схема одиничного інтелектуального модуля. Схема захисту IPM визначає стан перевантаження і короткого замикання (захист RTC), перевищення напруги насичення, падіння напруги живлення (контроль живлення і UVLO) і температуру кристала (датчик перегріву). При відхиленні від норми будь-якого з перерахованих параметрів схема захисту відключає силовий транзистор і видає сигнал несправності. Модуль може також містити вбудований супресор (обмеження) для захисту від імпульсних перенапружень.

При перегріві модуля вище заданого значення датчик температури, встановлений на підставі модуля, видає сигнал несправності. По цьому сигналу схема управління відключає силові транзистори. В напівмостових і мостових конфігураціях відключаються зазвичай транзистори нижнього рівня. Повторне включення станеться після охолодження модуля до порогу включення. Проте наявність теплового захисту не може гарантувати, що потужний кристал не порушить роботу за будь-яких умов. Кристал може перегрітися до того, як розігріється основа модуля і термодатчик. Це може статися, наприклад, через збій контролера та підвищення частоти комутації або із-за появи брязкоту в ланцюзі управління. У IPM, як правило, використовуються IGBT з вбудованим датчиком струму. Якщо струм колектора модуля перевищує граничне значення у перебігу певного часу, модуль відключається. Це видно з графіків на рисунках 6.11 та 6.12.

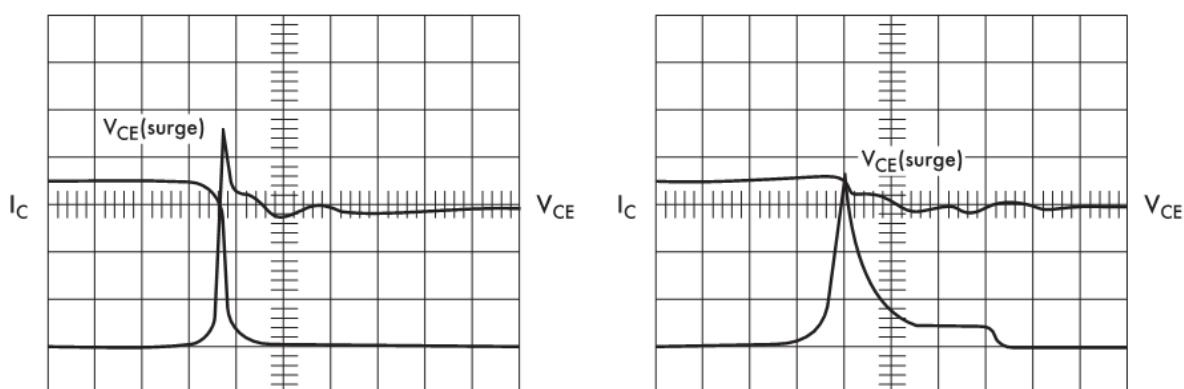


Рисунок 6.11 - Перехідна перенапруга при відключенні транзистора при миттєвому «жорсткому» і «м'якому» відключенні

Найбільш «інтелектуальні» схеми управління розрізняють два порогові значення струму — струм перевантаження, починаючи з якого починається аналіз несправності і формується контрольний сигнал, і струм КЗ, по якому відбувається відключення. Після виникнення стану перевантаження напруга на затворі знижується, що приводить до зменшення струму колектора. Потім, якщо стан перевантаження не припиняється, через 5–10 мкс напруга на затворі знижується до нуля. При цьому зниження напруги на затворі виробляється по певному закону. Таке «м'яке» відключення необхідне для зменшення значення di/dt і зниження перехідного перенапруження при виключенні. На рис.5.3 показані процеси, що відбуваються при миттєвому «жорсткому» і «м'якому» відключенні. Видно, що в другому випадку рівень перенапруження набагато нижчий.

У сучасних ІРМ використовується безперервний моніторинг струму кожного силового ключа і загального струму вжитку. Це необхідно для визначення всіх видів струмових перевантажень, включаючи пробій на корпус. Стан КЗ настає при замиканні навантаження або збої контролера, коли відкриваючі сигнали поступають на обидва плеча напівмостового каскаду, викликаючи наскрізний струм. При цьому вимірюється безпосередньо струм силового каскаду, а не напруга насичення. Якщо струм колектора досягає порогового значення I_{SC} , процес відключення починається миттєво. Проте зниження напруги на затворі відбувається в описаній вище послідовності для зменшення рівня перехідних перенапружень. Для зниження часу затримки між моментом виявлення стану КЗ і моментом відключення в найбільш «просунутих» ІРМ використовується так звана схема RTC — схема контролю струму в реальному часі (RTC — real time current control). Цей пристрій працює паралельно драйверу, «обходячи» всі стадії його роботи в режимі КЗ і знижуючи час обробки сигналу до 100 нс. Ефект від використання схеми RTC показаний на рис.6.11. Зниження часу обробки сигналу струмового

перевантаження зменшує струм КЗ і, відповідно, рівень перенапруження майже в 2 рази.

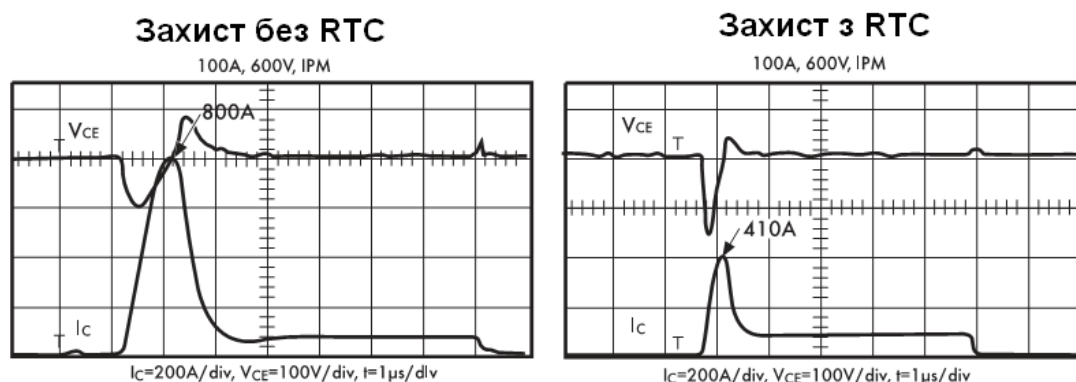


Рисунок 6.12 – Захист від КЗ з використанням схеми RTC в IGBT

Використання IPM по порівнянню зі звичайними модулями набагато спрощує завдання розробникові завдяки наявності вбудованих різноманітних функцій по захисту приладу від перегорання. Як правило, для роботи з IPM необхідно один або декілька гальванічно ізольованих джерел живлення (або одне багатоканальне джерело) і гальванічно ізольований інтерфейс для зв'язку з контролером. Кількість вторинних джерел живлення залежить від конфігурації модуля. Для потужних модулів найраціональніше використовувати окреме джерело для кожного силового ключа. Це дозволяє усунути проблеми, пов'язані з шумами і перешкодами, створюваними потужними струмами. Напруга ізоляції вторинного джерела має бути в 2 рази більше, ніж гранична робоча напруга модуля, а струм має бути достатнім для живлення схеми управління з врахуванням струмів заряду затворів і робочої частоти.

6.3 Розрахунок силового модуля для керування електродвигуном

Вибиратимемо інтелектуальний силовий модуль такий, щоб був розрахований на струм в колі та на напругу живлення мережі [13]. Визначимо силу струму, яка проходить через двигун, для того, щоб вірно підібрати інтелектуальний транзисторний модуль для його керування:

$$I_{\hat{e}} = \frac{P_{\hat{a}\hat{a}}}{U_i}, \quad (6.1)$$

де $P_{\hat{a}\hat{a}}$ - потужність, на яку розрахований вибраний двигун;

U_i - напруга мережі.

$$I_{\hat{e}} = \frac{110000}{600} = 183,3 \text{ (A)}$$

Враховуючи те, що у нас три фази, на одну фазу приходить:

$$I_1 = \frac{I_{\hat{e}}}{3} = 61,1 \text{ (A)} \quad (6.2)$$

Отже, врахувавши запас по струму та по напрузі, $K=2$, обиратимемо модуль:

$$I_{i\hat{a}} = I_1 \cdot 2 = 61,1 \cdot 2 = 122,2 \text{ (A)}, \quad (6.3)$$

$$U_{i\hat{a}} = U_i \cdot 2 = 600 \cdot 2 = 1200 \text{ (В)}. \quad (6.4)$$

З каталогу [18] вибираємо IGBT модуль 6MBi180S-120.

Таблиця 6.1 – Дані IGBT модуля SKM300GB128D

Корпус	fuji_62x122_PIM
Розрахований на струм (при $t \leq 80^\circ\text{C}$)	180 A
Розрахований на максимальну вхідну напругу	1200 В
$V_{CE(sat)}@ 25^\circ\text{C}$	1,9 В
$(E_{on}+E_{off})@ 125^\circ\text{C}$	44 mJ
$R_{th(j-c)}$	0,085 K/W
Схема	Трифазний IGBT міст (Six-Pack)
Вага	0,16 кг
Країна походження	Словачія
Виробник	SEMIKRON



Рисунок 6.13 – Зовнішній вигляд, коробка, вибраного модуля

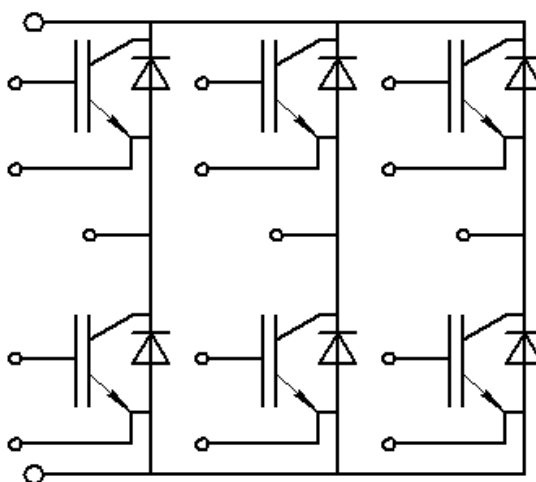


Рисунок 6.14 – Схема виконання IGBT модуля SKM300GB128D

Керування інтелектуальним силовим модулем, зовнішній вигляд та внутрішня конструкція якого наведена на рисунках 6.13 та 6.14, відбувається, як було описано розділом вище, з допомогою мікроконтролера. Що забезпечить виконання і дотримання заданого програмою фізичного процесу, а саме – плавне і економічне керування тяговим двигуном векторною широтно-імпульсною модуляцією. Контролер гарантує безвідмовність роботи, розширить можливості інженерних рішень (для випадку якщо з'явиться бажання чи необхідність змінити режим роботи інтелектуального силового модуля, наприклад, широтно-імпульсну модуляцію з векторної на звичайну, і навпаки) та збільшить можливості налаштування.

6.4 Вибір і програмування контролера

При наявності тільки тягового двигуна без можливості регулювання, він би негайно розганяв тролейбус до максимальної швидкості, одразу після отримання енергії з мережі. З цієї причини інженери розробили різноманітні методи для ефективного керування приводом тролейбуса. Одним із перших таких рішень стали реостати, які використовувались у реостатно-контакторних системах керування.

Для уповільнення руху тролейбуса за допомогою реостата, збільшували кількість витків за допомогою повзунка, що призводило до підвищення опору в системі. У випадку необхідності повної зупинки двигуна, реостат вмикали на максимальний опір.

Реостати значно нагріваються в будь-якому режимі, як у стані очікування, так і під час роботи. Протягом тривалого часу тепло, яке вони виділяли в навколишнє середовище, використовували для опалення салону в холодну пору року. Проте це рішення є неекономічним, оскільки влітку тепло від реостатів є зовсім недоречним. Сьогодні впроваджуються нові системи автоматичного керування, однією з яких є система на основі широтно-імпульсного перетворювача (ШІП).

Широтно-імпульсний перетворювач працює за іншим принципом: при досягненні максимального значення вхідної напруги він вимикається за допомогою спеціального вбудованого ключа, а потім знову вмикається. Це призводить до того, що на двигун подається середня напруга, яка утворюється внаслідок цих перемикань. ШІП регулює напругу, змінюючи довжину або ширину імпульсів, залишаючи при цьому стабільний період. Графічне зображення цього процесу (приклад наведено для частоти 3 кГц) представлено на рисунку. 6.15:

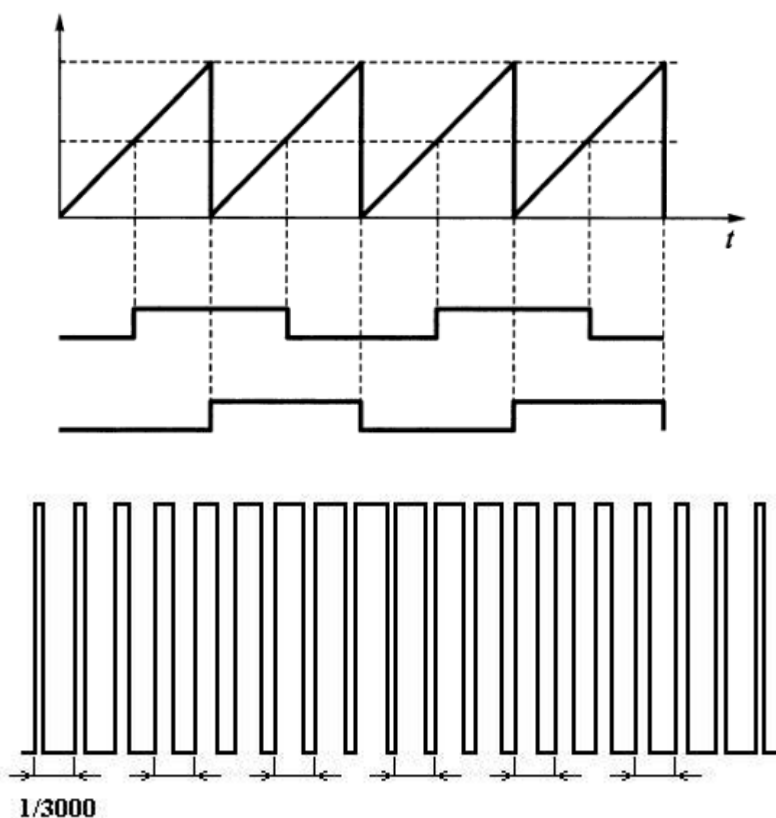


Рисунок 6.15 – Робота широтно-імпульсного перетворювача

Саме в цьому і полягає робота мікроконтролера – забезпечувати виконання фізичних процесів, що називаються широтно-імпульсною модуляцією.

Мікроконтролер – це мікросхема, усередині якої знаходиться мікро-ЕОМ [16]. У ньому є все, що необхідно для самостійної роботи:

- процесор;
- оперативна пам'ять – ОЗУ;
- постійна пам'ять – ПЗП;
- генератор тактової частоти;
- таймери;
- порти вводу/виводу;
- послідовні інтерфейси, і т.і.

Зовнішній вигляд мікроконтролера такий, як показано на рисунку 6.16.



Рисунок 6.16 – Зовнішній вигляд мікроконтролера MSP430.

У більшості мікроконтролерів є функція роботи з ШІП. Вони містять або модуль одного таймера `Timer_a`, або модулі двох таймерів `Timer_a` і `Timer_b`, і т.д.

Щоб отримати необхідні синусоїдальні сигнали та сигнали для векторного керування двигуном через модулі, можна використати драйвери, вбудовані в кожен транзисторну збірку, які керуються програмованим контролером АСК-196. Управління перетворювачем та його регулювання здійснює блок управління тяговим приводом (БУП), що належить до покоління приладів сімейства SIBAS 32. Це обладнання підтримує функції векторного керування та звичайного широтно-імпульсного модулятора (ШІМ).

Отож, слід використовувати наявне обладнання, перепрограмувавши його за допомогою спеціального програмного забезпечення SIEMENS SIMATIC STEP 7, що дозволить вдосконалити фізичний закон регулювання швидкості двигуна. Це є вигідним рішенням, оскільки не потребує одаткових витрат на придбання нового обладнання.

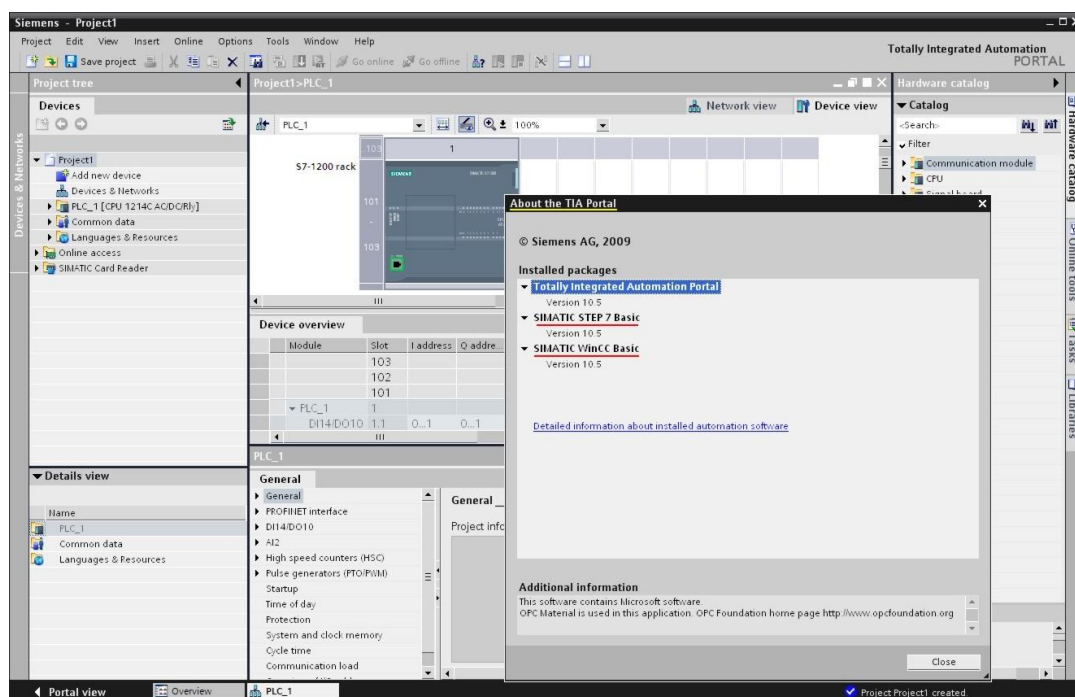


Рисунок 6.17 – Програмне вікно софту SIEMENS SIMATIC STEP 7

Simatic Step 7, рисунок 6.17, є першим спрощеним варіантом комплексної системи проектування. Прискорює процес розробки програм, конфігурування мереж, введення в експлуатацію. Надає користувачеві безліч нових, інтуїтивно зрозумілих можливостей щодо спільної роботи контролерів, панелей, блоків управління, модулів та іншого обладнання, при його запрограмуванні, між собою.

Наведемо функціональну схему керування електроприводом тролейбуса на рисунку 6.18.

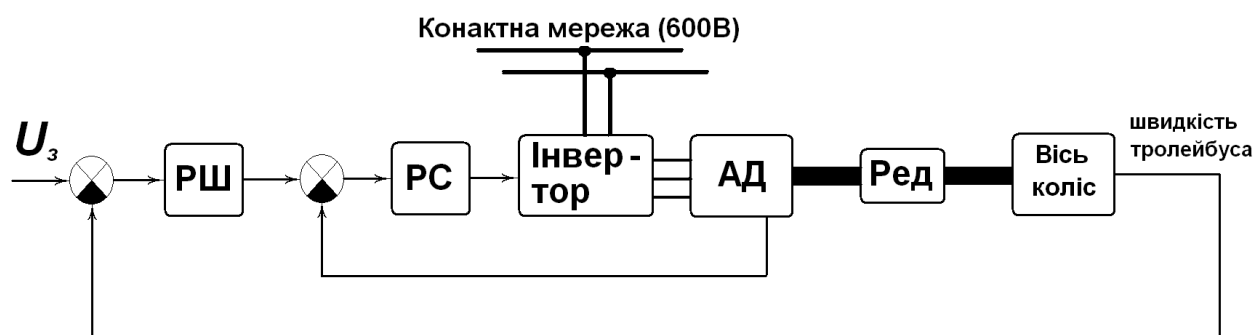


Рисунок 6.18 – Функціональна схема керування електроприводом тролейбуса Electro-ЛАЗ

Висновок. Для асинхронного двигуна типу А 280S4 було обрано трифазний IGBT міст SEMIKRON. Керування модулем, обробка сигналів і прийом команд здійснюється існуючими контролерами та платами перетворювача тролейбуса. Розроблено схему керування, яка відповідає поставленим задачам.

7 РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК САЕП

Для побудови статичної характеристики електродвигуна використаємо спрощений варіант формули Клосса, який можна використовувати для розрахунку статичних характеристик потужних асинхронних електродвигунів.

$$M = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (7.1)$$

де M_k - критичний момент двигуна, Н·м;

s -ковзання;

s_k - критичне ковзання.

Всі необхідні параметри знайдемо з паспортних даних електродвигуна.

Номінальний момент двигуна:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}}, \quad (7.2)$$

$$M_{ном} = \frac{110000}{750 \cdot 0,1047} = 1400,83 \text{ (Н·м)}.$$

Перевантаження двигуна по максимальному моменту:

$$\lambda_m = \frac{M_{макс.}}{M_{ном}}, \quad (7.3)$$

$$\lambda_m = \frac{2600}{1400,83} = 1,86.$$

Критичний момент двигуна:

$$M_k = M_{max} = \lambda_m M_{ном}, \quad (7.4)$$

$$M_k = 1,86 \cdot 1400,83 = 2605,5 \text{ (Н·м)}.$$

Критичне ковзання:

$$s_{kp} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}, \quad (7.5)$$

$$S_{kp} = \frac{0,014}{\sqrt{0,015^2 + 0,13^2}} = 0,07$$

Тоді вираз (7.1) стане таким:

$$M = \frac{5211}{\frac{s}{0,07} + \frac{0,07}{s}} \quad (7.6)$$

Побудована у Mathcad природна характеристика двигуна по спрощеній формулі Клосса, приведена на рисунку 7.1.

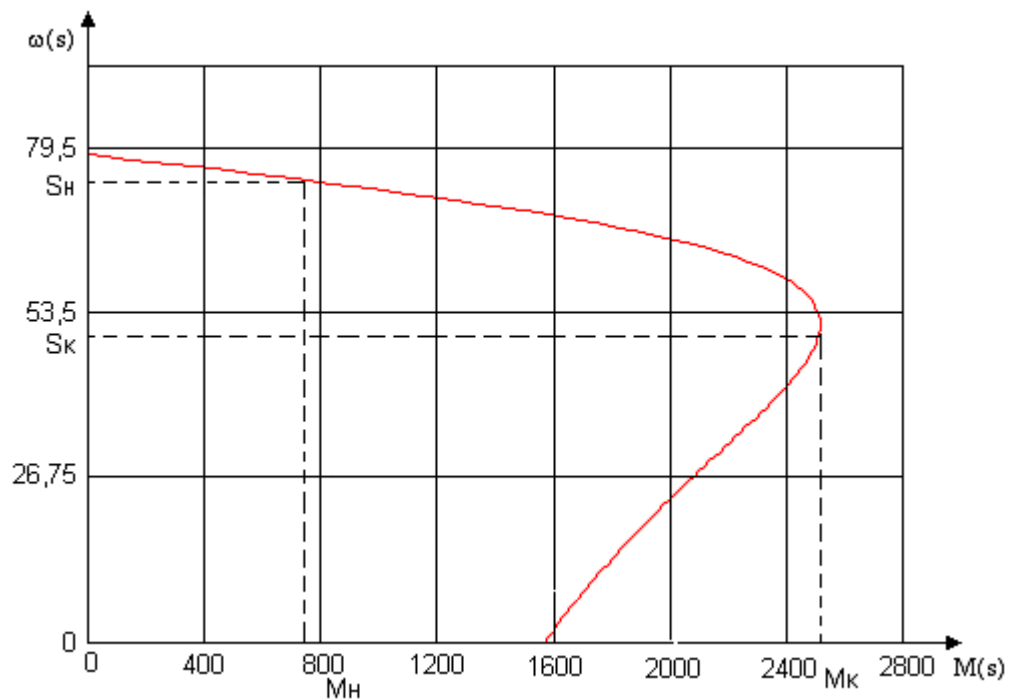


Рисунок 7.1 – Природна механічна характеристика двигуна

8 РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК САЕП

Розрахуємо статичний та динамічний моменти на валу електродвигуна при максимальній завантаженості салону пасажирами і при відсутності пасажирів [8].

1. При найбільшому завантаженні.

Статичний момент:

$$M_{cm1} = 9550 \frac{P_1}{n}, \quad (8.1)$$

$$M_{cm1} = 9550 \frac{110}{750} = 1400,67 \text{ (Н·м)}.$$

Динамічний момент відомий з формули (2.35) і дорівнює 645,41 Н·м.

2. При відсутності пасажирів (холостий хід).

Статичний момент:

$$M_{cm2} = 9550 \frac{P_2}{n}, \quad (8.2)$$

$$M_{cm2} = 9550 \frac{69.338}{750} = 882.9 \text{ (Н·м)}.$$

Динамічний момент:

$$M_{дин2} = J_2 \frac{\omega}{t_{роз2}}, \quad (8.3)$$

$$M_{дин2} = 14.426 \frac{408.407}{17.361} = 339.365 \text{ (Н·м)}.$$

Діаграми моментів та навантаження електродвигуна, побудовані за допомогою Mathcad приведено на рисунках 8.1, 8.2, 8.3.

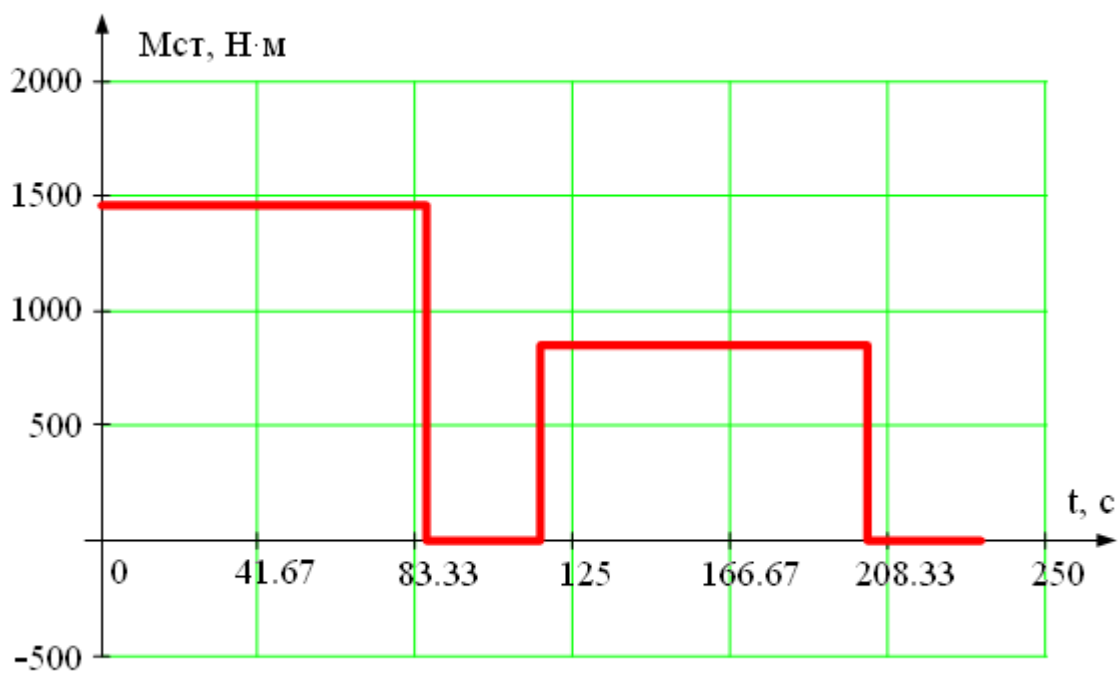


Рисунок 8.1 – Діаграма статичного навантаження двигуна

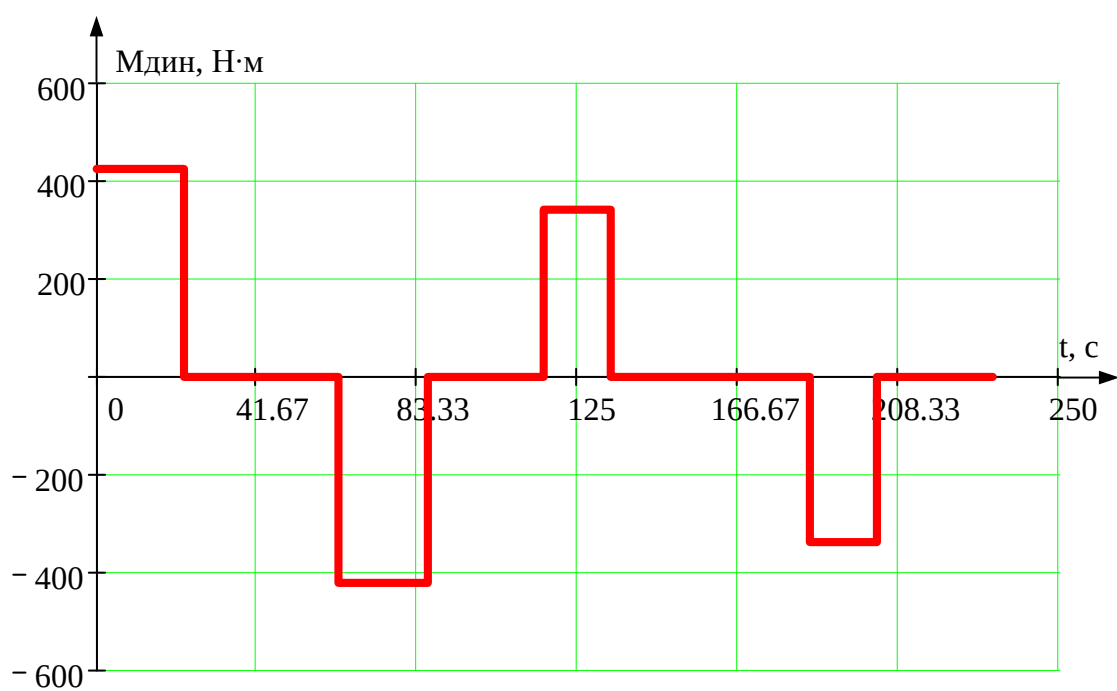


Рисунок 8.2 – Діаграма динамічного навантаження двигуна

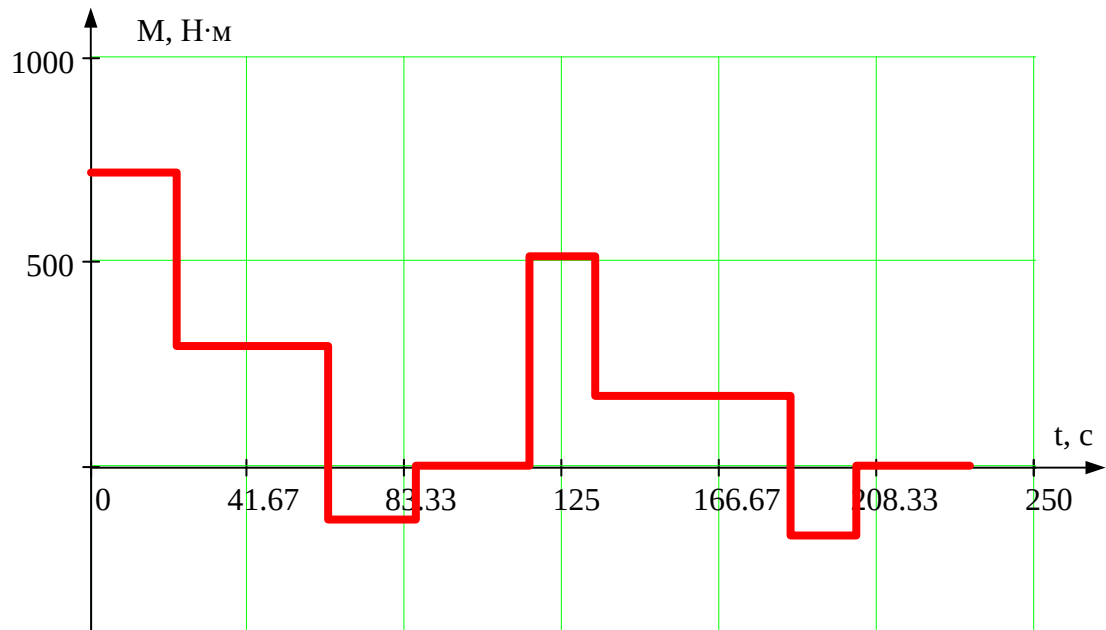


Рисунок 8.3 – Діаграма навантаження двигуна

Висновок. Побудовано динамічні характеристики, діаграми статичного та динамічного моментів двигуна, а також діаграму навантаження. Розглянуто тахограми швидкості та прискорення електродвигуна в режимах максимального навантаження і холостого ходу.

9 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НА СТІЙКІСТЬ ТА ЯКІСТЬ

9.1 Оцінка стійкості

Щоб дослідити систему на стійкість скористаємося можливостями ППП Matlab. Для цього замінимо входи на In1, In2 та виходи на Out1, Out2. Структурна схема при цьому зображена на рисунку 9.1.

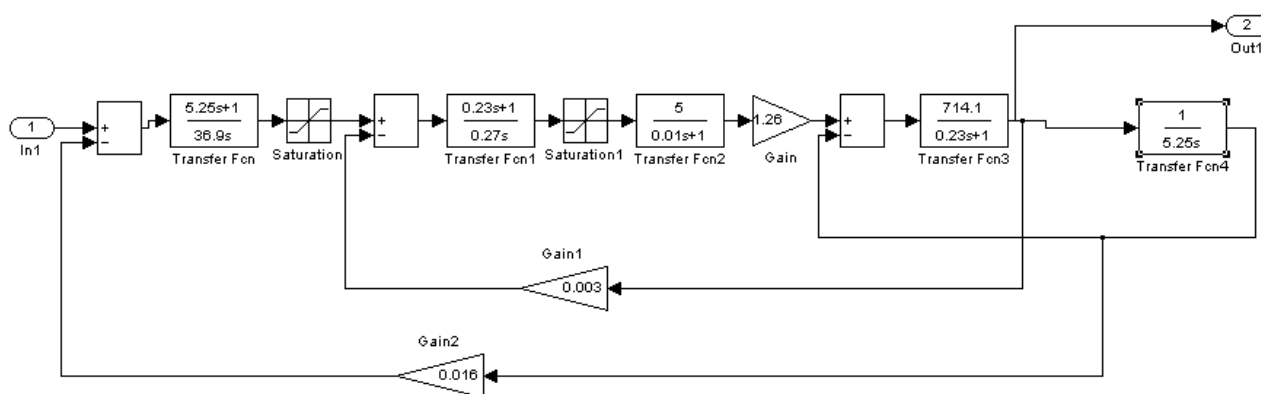


Рисунок 9.1 - Структурна схема ЕП тролейбуса зібраної в Matlab

Використовуючи команди `[a,b,c,d]=linmod('untitled')`, `sys=ss(a,b,c,d)`, `sys=tf(sys)`, `margin(sys)` отримали ЛАЧХ і ЛФЧХ по збурювальній дії.

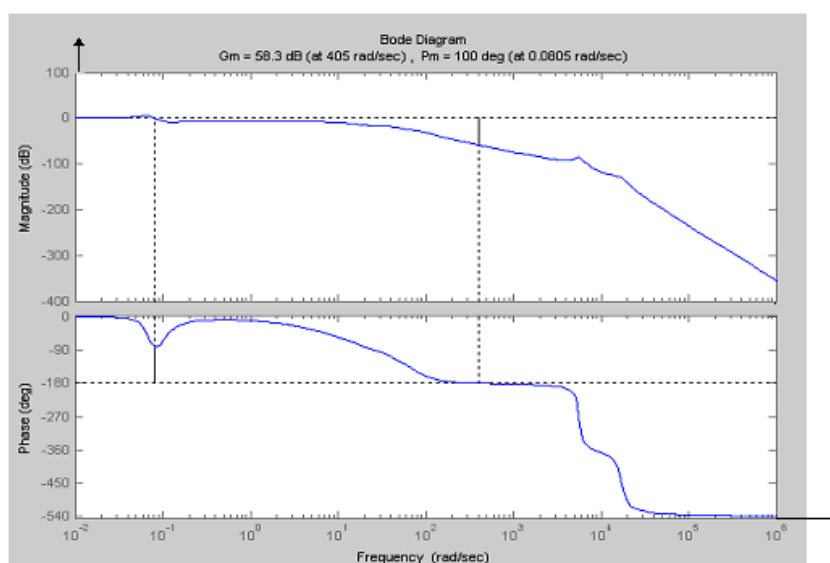


Рисунок 9.2 - Характеристики ЛАЧХ і ЛФЧХ по збурювальній дії

Запаси стійкості по амплітуді і по фазі приведено складають відповідно:
 $G_m = 58,3$; $P_m = 100$.

9.2 Оцінка якості

Визначення стійкості системи є недостатнім для повної характеристики її ефективності. Необхідно також дослідити якість системи під дією збурень. Використовуючи Matlab і команду `step(sys)`, можна отримати перехідний процес, який дозволяє оцінити якість системи. Графік перехідної характеристики наведено на рисунку. 9.3

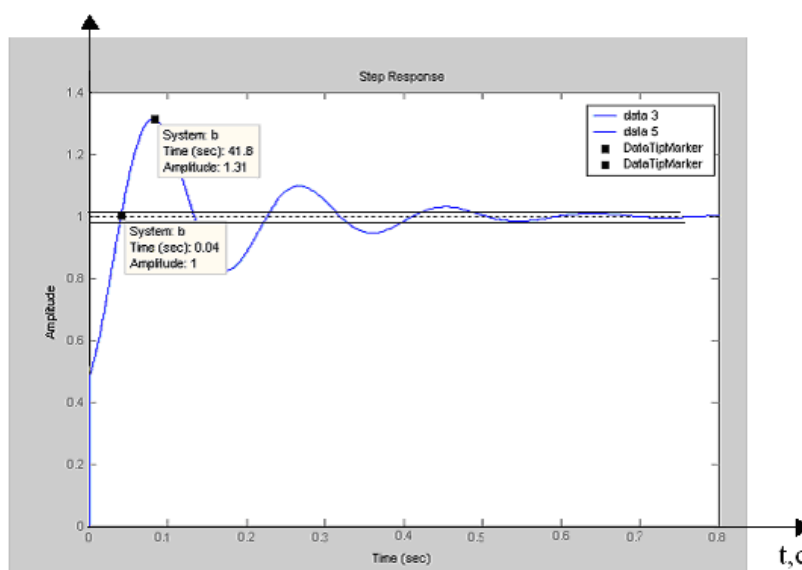


Рисунок 9.3 – Перехідна характеристика по збурювальній дії

По перехідному процесі знайдемо показники якості:

- час встановлення:

$$t_{вст} = 0,04 (с);$$

- усталене значення – значення на якому стабілізується система:

$$H_{уст} = 1;$$

- максимальне значення:

$$H_{\max} = 1,31;$$

- перерегулювання:

$$\sigma = \frac{H_{\max} - H_{уст}}{H_{уст}} \cdot 100\%, \quad (9.1)$$

$$\sigma = \frac{1,31-1}{1} \cdot 100\% = 31\%;$$

- час регулювання:

$$t_p = 0,56 \text{ (с)};$$

- кількість коливань:

$$N = 3;$$

- частота коливань:

$$f = \frac{N}{t_p}, \quad (9.2)$$

$$f = \frac{3}{0,56} = 5,36.$$

Висновок. З аналізу отриманих логарифмічних амплітудно-частотної характеристики (ЛАЧХ) та логарифмічної фазочастотної характеристики (ЛФЧХ) видно, що система є стійкою. Показник перерегулювання становить 31%. Кількість коливань становить три, що вказує на те, що система швидко стабілізується після збурень. Таким чином, система не тільки стійка, але й якісна в плані перехідних процесів при регулюванні.

10 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Загальний вигляд повної електричної принципової схеми приведений в додатку Б.

10.1 Розрахунок індуктивності згладжувального дроселя

Необхідна індуктивність:

$$L = \frac{U_{d2}}{\omega_c \cdot \Delta I_{d2}} \cdot \left[\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{3}{\pi} \cdot \cos \beta \right)^2}}{\frac{3}{\pi} \cdot \cos \beta} - \arccos \left(\frac{3}{\pi} \cdot \cos \beta \right) + \beta - \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \operatorname{tg} \beta \right], \quad (10.1)$$

де ΔI_{d2} - допустимі пульсації струму в реакторі;

ω_c – кругова частота мережі ($\omega_c = 314.16$ рад/с);

β – кут інвертування ($\beta = \pi/6$),

$$\Delta I_{d2} = (0,05 \div 0,1) \cdot I_{dn}, \quad (10.2)$$

$$\Delta I_{d2} = (0,05 \div 0,1) \cdot 121,8 = 6,09 \div 12,18 (\text{А}).$$

Приймаємо: $\Delta I_{d2} = 10$ А.

$$L = \frac{1200}{314,16 \cdot 10} \cdot \left[\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{3}{3,14} \cdot \cos \frac{\pi}{6} \right)^2}}{\frac{3}{\pi} \cdot \cos \frac{\pi}{6}} - \arccos \left(\frac{3}{\pi} \cdot \cos \frac{\pi}{6} \right) + \frac{\pi}{6} - \frac{\pi}{2 \sqrt{3}} \cdot \operatorname{tg} \frac{\pi}{6} \right] \approx 0,084 (\text{Гн}).$$

Еквівалентна ємність комутуючих конденсаторів:

$$C_e = \frac{I_d \cdot t_B}{U_{d2}}, \quad (10.3)$$

де t_b – час вимикання тиристорів ($t_b=1,5$ мс),

$$U_{d2} \geq (1.2 \div 1.3) \cdot \sqrt{6} \cdot U_c, \quad (10.4)$$

де U_c -напруга статора,

$$U_{d2} \geq (1.2 \div 1.3) \cdot \sqrt{6} \cdot 380 = 1116,97 \div 1210,05 \text{ (В)}.$$

Вибираємо $U_{d2}=1200$ В.

$$C_e = \frac{121,8 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{1200} = 152,2 \text{ (мкФ)}.$$

Вибираємо з стандартного ряду ємностей Е 24 ємність комутуючого конденсатора (152,2 мкФ).

10.2 Вибір сенсорів

Вибір сенсора швидкості здійснюємо за частотою, що подається на двигун 10 Гц. З каталожних даних вибираємо сенсор швидкості типу ДКС-М30-81У-1252-ЛА.02 частотою 2-50 Гц з такими параметрами: діапазон номінальної напруги 110-220В, номінальний струм - 250мА, падіння напруги - 9В, мінімальний струм навантаження - 5мА, залишковий струм - 3мА.

Вибір сенсора струму проводимо за струмом двигуна. З каталожних даних вибираємо сенсор струму типу ACS754SCB-200, на максимальний струм 200А. Цей сенсор застосовують для вимірювання постійного і змінного струму більше 100А. Існують сенсори на 130, 150 і 200А. Діапазон пропускання сенсора 35кГц, напруга ізоляції 3 кВ, внутрішній опір 100 мОм. Особливостями цього сенсора є маленький розмір, вмонтована силова шина та робота в широкому температурному діапазоні.

10.3 Вибір задатчика інтенсивності

Схема інтегратора зібрана на операційному підсилювачі, яка забезпечує час наростання напруги приведена на рисунку 10.1:

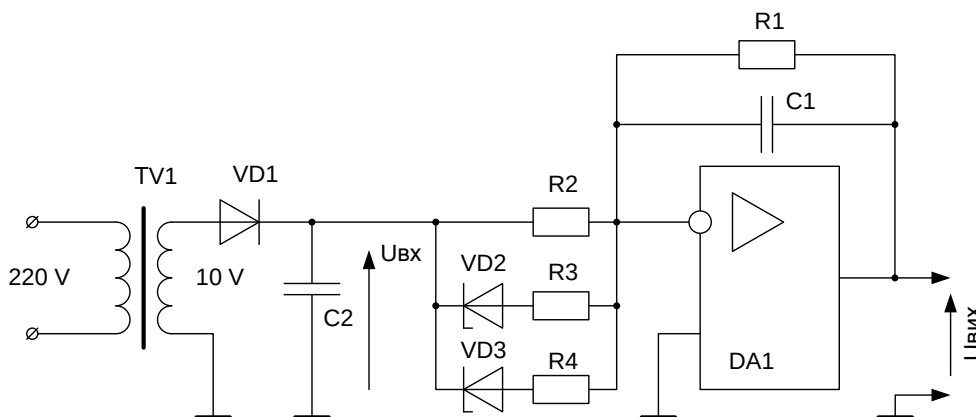


Рисунок 10.1 – Розрахункова схема задатчика інтенсивності

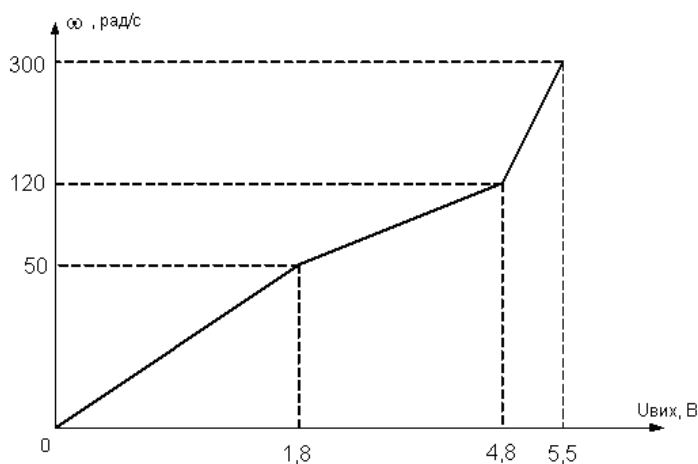


Рисунок 10.2 – Статична характеристика ЗІ

З графіка рисунок 10.2 знайдемо приблизні коефіцієнти пропорційності резисторів R1, R2, R3:

$$K_T = \frac{\Delta\omega}{\Delta U}, \quad (10.5)$$

де $\Delta\omega$ - зміна регулюючого параметра на одній ділянці;

ΔU - зміна вхідної напруги на тій же ділянці;

$$K_{T1} = \frac{50}{1,8} = 27,8,$$

$$K_{T2} = \frac{70}{3} = 23,3,$$

$$K_{T3} = \frac{180}{0,7} = 257,1.$$

При сходинковій подачі на задатчик інтенсивності 5,5 (В) в роботу включаються відразу всі резистори (R2, R3, R4). Прийmemo їх паралельний опір рівним $R_{\text{третього}} = 0,5 \text{ кОм}$.

Паралельний опір резисторів R2 і R3:

$$R_{\text{другого}} = n_1 \cdot R_{\text{третього}}, \quad (10.6)$$

$$n_1 = \frac{K_{T3}}{K_{T2}},$$

$$n_1 = \frac{257,1}{23,2} = 11,08,$$

$$R_{\text{другого}} = 11,08 \cdot 500 = 5540 \text{ (Ом)}.$$

Величина опору R₂:

$$R_2 = n_2 \cdot R_{\text{другого}}, \quad (10.7)$$

$$n_2 = \frac{K_{T2}}{K_{T1}},$$

$$n_2 = \frac{23,3}{27,8} = 0,84,$$

$$R_2 = 0,84 \cdot 5540 = 4653,6 \text{ (Ом)},$$

$$R_{\text{другого}} = \frac{R_2}{n_2}, \quad (10.8)$$

Вибераємо з ряду резисторів резистор номіналом $R_2 = 4,7$ (кОм).

$$R_{\text{другого}} = \frac{4700}{0,84} = 5595 \text{ (Ом)}$$

Знайдемо величину опору R_3 :

$$R_3 = \frac{R_2 \cdot R_{\text{другого}}}{R_2 + R_{\text{другого}}}, \quad (10.9)$$

$$R_3 = \frac{4653,6 \cdot 5595}{4653,6 + 5595} = 2541 \text{ (Ом)},$$

Вибераємо з ряду резисторів резистор номіналом $R_3 = 2,5$ (кОм).

Знайдемо величину опору R_4 :

$$R_4 = \frac{R_{\text{другого}} \cdot R_{\text{третього}}}{R_{\text{другого}} + R_{\text{третього}}}, \quad (10.10)$$

$$R_4 = \frac{5595 \cdot 500}{5595 + 500} = 459 \text{ (Ом)}.$$

Вибераємо з ряду резисторів резистор номіналом $R_4 = 4,5$ (кОм).

За номіналами резисторів знайдемо їх загальний опір:

$$R_{\text{третього}} = 11700 \text{ (Ом)}.$$

Ємність конденсатора приймаємо $C = 1,13$ (мкФ).

Для керування схемою електроприводу тролейбуса з [19] вибираємо датчик інтенсивності ЗИ-1АИ.

10.4 Розробка принципової схеми системи електроприводу

У попередніх розділах зазначено, що блок управління тяговим перетворювачем та контролери встановлено в перетворювачі, а також обрано драйвери силових модулів, які з'єднані з контролерами за протоколом RS-485. Для програмування блоку управління використано програмне забезпечення компанії Siemens.

Для керування тяговим двигуном оберемо інвертор, який забезпечує не тільки динамічне гальмування, але й рекуперацію електричної енергії при гальмуванні (КЕРС). Спрощену електричну принципову схему представлено на рисунку. 10.1.

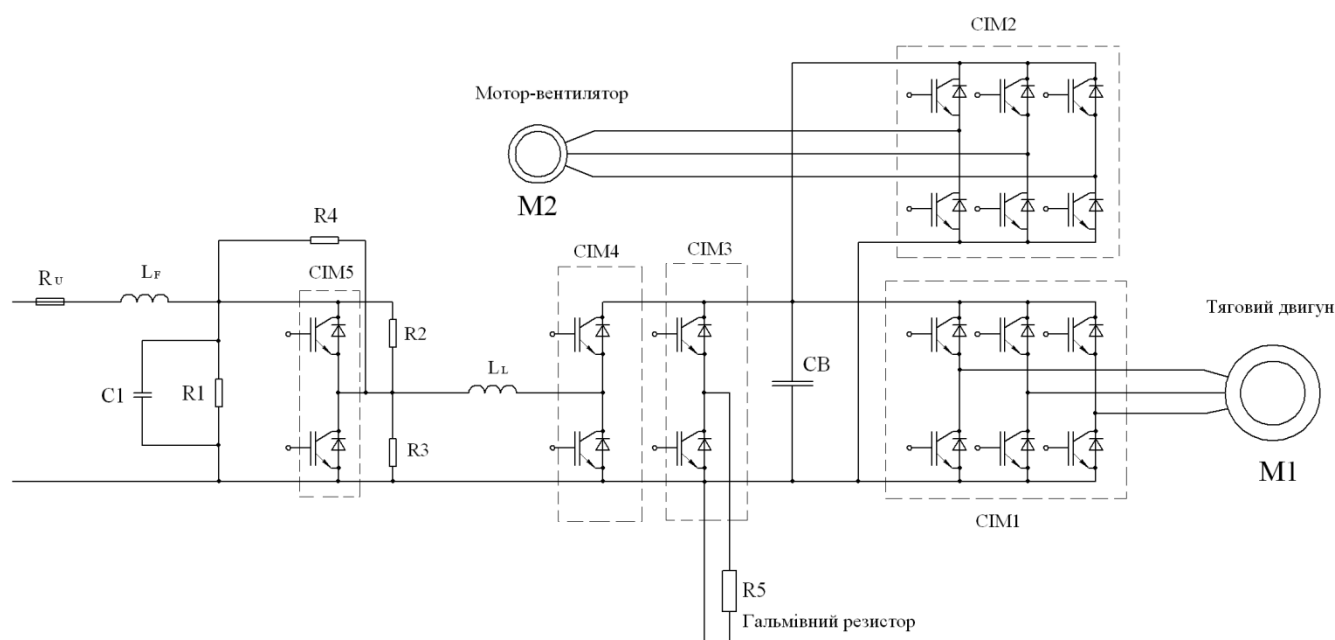


Рисунок 10.1 – Електрична принципова схема тягового електроприводу

На рисунку 10.1: M1 – тяговий двигун; M2 – мотор-вентилятор; CB – конденсаторна батарея; CIM1-CIM 4 – силові інтелектуальні модулі; R_U – високовольтний запобіжник; L_F , L_L – дроселі; C1 – конденсатор LC-фільтру; R1-R4 – реостати; R5 – гальмівний резистор.

В лівій частині схеми елементи вхідного фільтру, гальмівний переривач та інші.

Трифазний модуль слугує для перетворення постійного струму в змінний. У схемі використано трифазний IGBT модуль, який дозволяє змінювати ширину імпульсів, отримуючи струм, що змінюється за синусоїдальним законом необхідної частоти (від 0 до 150 Гц). При подачі трьох синусоїдальних струмів, зміщених один щодо одного на 120 градусів, в обмотки двигуна, двигун починає обертатися, а регулювання частоти дозволяє змінювати його швидкість. Трифазний IGBT модуль має два плеча – верхнє і нижнє, з відповідними входами: плюсовим і від’ємним. На ці входи подається 600 В від конденсаторної батареї, яка живиться від мережі. Середня точка між плечами модуля є виходом. Коли відкривається транзистор верхнього плеча, струм протікає від плюсового входу до середньої точки, до якої підключено вивід відповідної фази електродвигуна. При відкритті нижнього плеча струм протікає від двигуна до мінуса. Обидва плеча ніколи не відкриваються одночасно. Відкриваючи транзистори верхнього плеча, формується позитивна частина напівперіоду, і навпаки. Принцип роботи схеми ілюструється на рисунку.11.2.

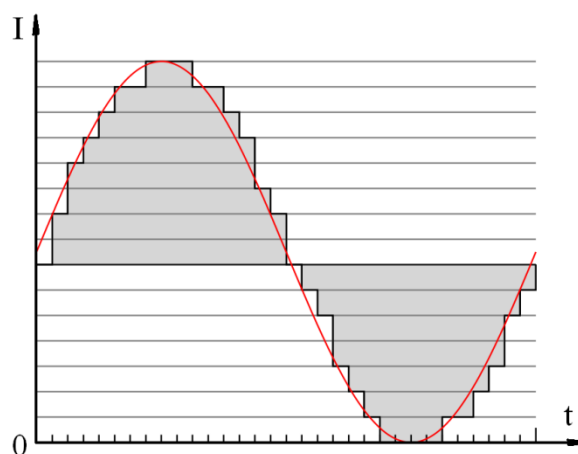


Рисунок 10.2 – Позитивна і від’ємна частини напівперіодів на виході інтелектуального силового модуля

Відкриттям і закриттям транзисторів в потрібний момент для отримання необхідної синусоїди керують драйвери, вбудовані в кожну діодно-транзисторну збірку, а вони в свою чергу керуються програмованим контролером АСК-196. Інверторів на схемі два – один для тягового

електродвигуна, інший – для асинхронного вентилятора, що служить охолоджувачем тягового перетворювача. Попередньо він живився від трьох силових збірок, однак вони не забезпечені захистом по струму від КЗ, пониженої напруги., тому часто вигорають при несправностях, тож є слабкою ланкою в електричній схемі. З цієї причини було замінено їх єдиним інтелектуальним силовим модулем SKM75GB128D. Керування відбувається аналогічно – через контролер та блок управління. Крім двох інверторів до складу перетворювача входять ще елементи вхідного фільтра і гальмівний переривач. Все це керується двома контролерами, які знаходяться в корпусі перетворювача.

Для переходу в режим гальмування асинхронна машина повинна споживати реактивну потужність від якого-небудь джерела, наприклад, від батареї конденсаторів. Тоді можливо здійснити гальмування і при відсутності напруги в контактній мережі, що для тролейбуса є особливо важливим. Конденсаторна батарея СВ має значення ємності – 9600 мікрофарад.

За рекуперативне гальмування відповідає СІМ4. Відкриття верхнього плеча цього модуля забезпечує повернення електроенергії в контактну мережу. Постійно контролюється напруга в мережі, і якщо вона перевищує 750 В, електропривод переходить в режим реостатного гальмування. Це досягається відкриттям транзисторів верхнього плеча СІМ3 (гальмівного переривника, чоппера), в результаті чого гальмівне коло замикається через гальмівні резистори, розміщені на даху тролейбуса.

Блок управління містить об'єднуючу плату зі слотами, в які вставлено декілька плат, зокрема плата процесора, плата послідовного зв'язку та три плати вхідних/вихідних аналогових і дискретних сигналів. Плата послідовного зв'язку забезпечує три канали зв'язку. Перший і основний канал забезпечує зв'язок пристрою управління з тяговим перетворювачем через інтерфейс RS-485, передаючи всі команди на розгін і гальмування. Два інші канали, що працюють через інтерфейс RS-232, забезпечують зв'язок з панеллю оператора на пульті

водія, туди також виводяться діагностичні повідомлення та ряд параметрів, і підключаються до пристрою управління діагностичним пристроєм (ЦДП) або портативним комп'ютером для діагностування несправностей.

Плати вхідних дискретних сигналів забезпечують прийом керуючих команд з пульта і педального командоапарату водія, сигналів з численних датчиків і т.п. Тим самим зайняті і плати аналогових вхідних сигналів, відмінність тільки у вигляді самих сигналів (або 0 / 1, включено / вимкнено - для дискретних, або змінюються в широкому межі показники для аналогових, наприклад напруга бортової мережі). Плата дискретних вихідних сигналів займається передачею команд різних виконавчих механізмів вагона, починаючи з лампочок на пульті, закінчуючи відкриттям / закриттям дверей та управлінням контакторами механічних і рейкових гальм. Пристрій управління має свій власний стабілізований блок живлення. У висувній панелі з платами управління знаходяться три невеликих плати у верхньому ряду - це внутрішні джерела живлення, що перетворюють 24 В бортової мережі в стабілізовану напругу 5В, 12В, + /-15В для потреб перетворювача. Нижче знаходяться три великих плати. Крайня права – А50 - контролер вентилятора АСК-196. Він безпосередньо управляє інвертором вентилятора - саме за командами з цієї плати в потрібний момент відкриваються і закриваються транзистори. У дві мікросхеми ПЗУ записана програма управління.

З вагона у перетворювач заходить високовольтне живлення 600В, яке в подальшому інвертор перетворює в змінну напругу для роботи тягових двигунів. Перш ніж потрапити всередину перетворювача високовольтна лінія проходить через лінійний контактор. Дозвіл на його включення дає сам перетворювач, минаючи БУП, по окремій лінії - реле на платі А10 стоїть в ланцюзі включення лінійного контактора. Це робиться для подвійного контролю.

Інвертор живиться не безпосередньо від контактної мережі, а через конденсаторну батарею, яка на схемі розташована перед інвертором і позначена

як СВ. Ця батарея складається з 12 паралельно підключених конденсаторів загальною ємністю 9600 мікрофарад. Інвертор фактично не контактує з мережею і не залежить від стрибків напруги у ній, оскільки завдяки вхідному стабілізатору напруга на конденсаторній батареї залишається постійною. Задача вхідного стабілізатора полягає в підтримці стабільної напруги на батареї.

Цю функцію виконують дві діодно-транзисторні збірки – силові інтелектуальні модулі – СІМ1 і СІМ2. СІМ1 обмежує зарядку конденсаторної батареї, коли напруга на батареї знижується нижче встановленого рівня, верхнє плече СІМ1 відкривається і підключає її до контактної мережі. Струм проходить через відкритий транзистор верхнього плеча СІМ1, дросель (LL) і зворотний діод СІМ2 (транзистор СІМ2 при цьому залишається закритим). Після підвищення напруги на СВ транзистор СІМ1 закривається, і цей процес відкриття та закриття повторюється постійно.

СІМ2 обмежує перевищення напруги, так якщо напруга на батареї перевищує допустимий рівень (наприклад, при гальмуванні), транзистор верхнього плеча СІМ2 відкривається і відводить надлишок енергії в контактну мережу.

СІМ3, призначений для ситуацій, коли напруга в контактній мережі перевищує 750 вольт і відведення надлишкової енергії туди стає неможливим. У цьому випадку відкривається транзистор верхнього плеча СІМ3, і струм проходить через гальмівні реостати.

Особливо важливим є процес першої зарядки конденсаторної батареї. Коли тролейбус вперше підключається і висока напруга подається до перетворювача, конденсаторну батарею не можна безпосередньо підключати до мережі. Для цього використовується зарядний резистор R1 з номіналом 1,43 Ом, який встановлено паралельно транзистору верхнього плеча СІМ1. Першочергова зарядка здійснюється через цей резистор. Після завершення зарядки батареї СІМ1 шунтує резистор, і струм більше не протікає через нього.

Висновок. Запропоновано принципову схему системи керування тяговим електроприводом тролейбуса, яка побудована з використанням інтелектуальних силових модулів та описано роботу силового інвертора. Дана схема забезпечує стабільну роботу двигуна та рекуперативне гальмування.

11 ОХОРОНА ПРАЦІ

В даній роботі здійснюється модернізація системи керування тягового електропривода тролейбуса. Шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний оперативно-ремонтний персонал підприємства [25, 26]:

фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо); хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил); фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

Тролейбус – транспорт для масового обслуговування населення, і це положення з врахуванням вимогам до підвищення якості обслуговування пасажирів сприяє проявленню особливої уваги до питання вибору системи електроспоживання і засобів захисту, що забезпечують надійність її роботи і безпеку людини при контакті з системою як при нормальному режимі роботи, так і при відхиленні від них.

До числа важливих показників, що характеризують якість транспортного обслуговування, відноситься безпека перевозок, безпечне обслуговування засобів транспорту і систем електропостачання, а також безперебійність роботи транспорту.

11.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації тролейбусного депо

Технічні рішення з безпечної організації робочих місць під час оперативного обслуговування тролейбуса.

Електропроводка тролейбуса виконана по двопровідній схемі і розділяється на високовольтну і низьковольтну. Високовольтна проводка з'єднує апарати і електричні машини, які живляться від контактної мережі постійної напруги 550 В. Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у робочому приміщенні є струмопровідною.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ - спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

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

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізольованими струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями - 5см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустановками. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому

що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробую і створити небезпеку при дотику людини до ізольованих проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона - для ланцюгів керування.

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

Приміщення в якому розташований тролейбус техогляду повинно бути сухим, світлим і теплим а також забезпечене роздягальною з вішалками для одягу.

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

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

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

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

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

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

- суворо дотримуватися Правила техніки безпеки на міському транспорті.

Основні Правила безпечної експлуатації тролейбуса:

- експлуатувати тролейбус тільки на дорогах I та II категорій з покриттям капітального типу і нахилами 0,08;

- не допускати роботу з перенавантаженням пасажирями (більше 126 осіб). Експлуатація з перенавантаженням може призвести до поломки агрегатів автомеханічного і електричного обладнання, а також кузова тролейбуса;

- не перевищувати найбільшу допустиму швидкість (90 км/год);

- не розпочинати руху, якщо тиск у повітря в пневмосистемі гальм і підвіски нижче $4,5 \text{ кгс/см}^3$, а також допускати зниження тиску в ній під час руху менше заданого;

- не допускати довготривалої роботи з не справним гідро підсилювачем рульового управління, а також довготривалого буксирування не справного тролейбуса, так як при цьому сильно навантажується механізм рульового управління;

- у всіх випадках буксирування тролейбуса слід застосовувати лише буксирне пристосування;

- конденсат з повітряних балонів необхідно зливати при тиску повітря в пневмосистемі вище атмосферного;

- підтримувати акумулятори в робочому стані;

- особливу увагу приділяти шинам, так як довговічність, а також нормальна робота підвіски, легкість управління тролейбусом в великій мірі залежить від підтримання в них нормального тиску;

- для гальмування тролейбуса на зупинках слід користуватися ручним гальмом; при русі ним користуватися заборонено;

- розбір і збір рульового механізму і насосу повинні виконувати тільки кваліфіковані механіки в умовах повної чистоти і тільки у випадку необхідності;

- електрообладнання повинно бути чистим і сухим, деталі, що зношуються не повинні мати граничних зносів. Регулювання системи управління, захисту і інших систем повинно суворо відповідати технічним даним;

- водій тролейбуса зобов'язаний систематично слідкувати за станом електрообладнання и вимагати від ремонтного персоналу дотримання всіх технічних правил, що забезпечують належний стан електричних машин і апаратів;
- при русі на лінії водій повинен вести тролейбус на перегоні так, щоб з ввімкненим тяговим двигуном їзда складала приблизно 50% загального часу, 50% – на вибігу, тобто з вимкненим двигуном;
- з нормальним навантаженням їзда на тролейбусі допускається без обмежень на підйомах до 35‰, будь-якої протяжності;
- експлуатація тролейбуса на підйомах більше 80‰ не допускається. Забороняється рух назад зі швидкістю більше 15 км/год, а також при тиску повітря в пневмосистемі менше 4 кгс/см².

При експлуатації тролейбус необхідно підтримувати в справному стані і суворо дотримуватися порядку і строків технічного догляду. Надійна робота тролейбуса забезпечується своєчасним і кваліфікованим його обслуговуванням.

Електробезпека.

Живлення електропривода приміщень тролейбусного депо та системи освітлення здійснюється від мережі з заземленою нейтраллю напругою 380 х 220 В з частотою 50 Гц. Проектування та експлуатація електричних мереж і установок повинна здійснюватися за умови дотримання вимог з їхньої електробезпеки [4, 5].

Технічні рішення щодо запобігання електротравмам під час виконання робіт:

1) Для запобігання електротравм від контакту зі струмопровідними елементами електроустаткування потрібно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні – написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати в закритих конструкціях підлоги.

2) При живленні однофазних споживачів струму при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на

корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

11.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

Мікроклімат. Категорія робіт, що виконується оперативним персоналом – Па – пов'язано з постійною ходьбою і перенесенням невеликих вантажів масою до 1 кг [26].

За ступенем впливу на тепловий стан людини мікрокліматичні умови визначаємо як допустимі (таблиця 11.1).

Таблиця 11.1 – Допустимі параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, ° С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Середньої важкості: Іа	17-23	75	не > 0,3
Теплий	Середньої важкості: Іа	18-27	65 при 26 °С	0,2-0,4

Необхідно, щоб в приміщеннях була постійна циркуляція повітря або встановлений кондиціонер [27]..

Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [26].

Таблиця 11.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб. м		Клас небезпеки
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Вуглецю оксид (СО)	3	1	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу товщиною в 1/8" на будь-якій ділянці вказує на необхідність у вживанні заходів з її очищення. Необхідно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (зернистість), тим вище небезпека.

Виробниче освітлення. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [27], роботи в депо потребують освітлення, яке характеризується розрядом зорової роботи ІІІ, підрозряд «в». Нормовані значення штучного, природного та суміщеного освітлення наведені в таблиці 11.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне

очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Таблиця 11.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак- ка зорової роботи	Найменший або еквівалент- ний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під- розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характе- ристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Висо- кої точн- ості	Від 0,3 до 0,5 включно	III	в	малий середній великий	світлий середній темний	600	200	-	3,0

Виробничий шум. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях мають відповідати вимогам СН 3223-85, ГОСТ 12.1.003-85, ГР 2411-81 [28] і наведені в табл. 11.4.

Устаткування, що є джерелом шуму (вентилятори, електроінструмент, технологічне обладнання), слід використовувати поза межами приміщень.

Для забезпечення допустимих рівнів шуму на робочих місцях слід застосовувати засоби звукопоглинання, вибір яких має обґрунтовуватись спеціальними інженерно-акустичними розрахунками.

Таблиця 11.4 – Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні

звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Виконання усіх видів робіт на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Акустична обробка приміщень – це облицювання частини внутрішніх поверхонь огорожень звукопоглинаючими матеріалами, а також розміщення в приміщенні штучних звукопоглиначів, які представляють собою вільно підвішені об’ємні поглинаючі тіла довільної форми. Найбільший ефект при акустичній обробці можливо отримати в точках, які розташовані в зоні відбитого звуку; в зоні прямого звуку акустичний ефект від застосування облицювання набагато менший. Звукопоглинаючі облицювання розміщують на стелі і в верхніх частинах стін при висоті приміщення не більше 6-8 м таким чином, щоб акустично оброблена поверхня складала не менше 60 % від загальної площі обмежуючих приміщення поверхонь. У вузьких і дуже високих приміщеннях доцільно облицювання розміщувати на стінах, залишаючи нижні частини стін (до 2 м висотою) не облицьованими, або проектувати конструкцію звукопоглинаючої підвісної стелі.

Виробнича вібрація.

Норми виробничої вібрації на постійних робочих місцях в приміщеннях підприємства, визначені за [26], наведено в таблиці 11.5.

Таблиця 11.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні полоси з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	32	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	1,3* 108	0,45 99	0,22 93	0,2 92	0,2 92	0,2 92	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, $\text{м/с}^* 10''$, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

1. Створення амортизаторів в яких використовують пружини, гуму та інші пружні матеріали.
2. Розміщення будівельних конструкцій на масивних фундаментах.
3. Встановлення додаткових реактивних опорів.

Також серед технічних заходів уникнення шкідливого впливу вібрації – створення нових конструкцій інструментів і машин, вібрація яких не може виходити за безпечні для людини межі, а зусилля не повинні перевищувати 15- 20 кг. Усі деталі машин та агрегатів, що рухаються, повинні ретельно врівноважуватися, а для зменшення динамічних сил, які спричиняють вібрації, слід застосовувати змащування та ін.

11.3 Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують «Правила пожежної безпеки в Україні» та інші правила пожежної безпеки для промислових підприємств і окремих об'єктів [27, 28]. Визначення пожежо-вибухонебезпечності речовин і матеріалів здійснюється за рекомендаціями [25], а, відповідно, категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок, де вони використовуються, зберігаються тощо, за [24].

Пожежо-вибухонебезпечність речовин і матеріалів – сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості та умов протікання, можуть бути пожежа або вибух. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначають показниками, вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), та умов їхнього застосування.

Отже, приміщення депо, де здійснюється оперативне обслуговування тролейбусів, за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відносяться до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В; а також, частково, категорії В, в яких знаходяться та будуть знаходитися (зберігатися) легкозаймисті, горючі і/або важко горючі рідини, а також речовини і/або матеріали, як здатні вибухати та горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним; тверді горючі і/або важко горючі речовини та матеріали (включно горючий пил і/або волокна), за умови, що питома пожежна навантага для твердих і рідких легко-займистих, горючих та важко горючих речовин і/або матеріалів на окремих ділянках площею не менше 10 м^2 кожна може перевищити $180 \text{ МДж} \cdot \text{м}^2$.

Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується III ступенем вогнестійкості. До III ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку. Мінімальні межі вогнестійкості

будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [26] наведено в таблиці 11.6.

Таблиця 11.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхів (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	самонесучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [25] наведено в таблиці 11.7.

Таблиця 11.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекрытия	2	REI 60	2	1

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 11.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні

відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 11.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 11.8 (знаменник).

Таблиця 11.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IV, V
III	8/9	8/12	10/15

На території депо встановлено 54 порошкових (ВП) та водо-пінних (ВВП) вогнегасників ємністю 5 та 9 л.

Висновок: розроблено рекомендації з охорони праці та технічні рішення з правил безпечної експлуатації.

ВИСНОВКИ

В бакалаврській кваліфікаційній роботі на тему «Модернізація системи керування тягового електропривода тролейбуса» проведено порівняльний аналіз систем керування електроприводом тролейбуса для визначення найбільш ефективної системи.

Перевірено обраний двигун за здатністю перевантаження.

Для обраної системи електроприводу розраховано та підібрано потужність двигуна, захисні та керуючі апарати, елементи системи керування та інвертор.

Система автоматичного керування тяговим електродвигуном реалізована у вигляді інвертора на базі інтелектуального силового модуля з вбудованими драйверами. Система включає чотири силові модулі різних типів, які забезпечують запуск, регулювання швидкості, реверс, рекуперативне гальмування та гальмування через гальмівний резистор. Порівняно з релейно-контакторною системою для керування тяговим двигуном, силові модулі забезпечують більш точне автоматичне керування, що обґрунтовує їх широке впровадження.

Проведено моделювання, яке показало, що поведінка системи відповідає реальним фізичним та електромеханічним процесам. Досліджено стійкість та якість системи електроприводу.

Отримані знання та досвід можуть бути основою для подальших досліджень і розробок у даній галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Україна: транспорт. [Електронний ресурс] / Велика українська енциклопедія. – Режим доступу: <https://vue.gov.ua/> Україна: _транспорт
2. Транспортна мережа Вінниці. [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://city1.vin.com.ua › ua/main/p_trans.html
3. Тролейбус. Загальне визначення. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Троллейбус>
4. Тролейбус ЛАЗ Е183. Основні відомості. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.laz.ua/>
5. Сучасний тролейбус. Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://naukatehnika.com/sovremennyijtrollejbus.html>
6. ЗАТ «Львівський автомобільний завод», Тролейбус Е183 та його модифікації: Керівництво з експлуатації. – Львів, 2006. – 147 с.
7. Технічна експлуатація міського електричного транспорту: Навч. посібник. / В.Х.Далека, В.Б.Будниченко, Е.І.Карпушин, В.І.Коваленко. Харків: ХНАМГ, 2007.- 286 с.
8. Рухомий склад міського електричного транспорту. Механічна частина : навч. посібник / В. Х. Далєка, М. В. Хворост, В. І. Скуріхін, Д. І. Скуріхін. ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекєтова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекєтова, 2018. – 388 с.
9. Крамарєнко Р. М. Стан та основні напрямки удосконалення роботи міського електричного транспорту в сучасних умовах // Збірка доповідей міжнар. конф. «Міський електротранспорт. Забезпечення сталого функціонування і розвитку». – Ялта, 2008.
10. Двигуни. Каталог. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.a-a-a.ru/>
11. Двигуни. Каталог. . [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://ventilator.kiev.ua/production/electric_motors/index.html

11. Левковець П.Р., Зеркалов Д.В., Мельниченко О.І., Казаченко О.Г. Управління автомобільним транспортом: Навч.посібник / За ред.Д.В. Зеркалова. – К.: Арістей, 2006.- 416 с..

12. Вимірювальні системи сучасних електромеханічних комплексів. Навчальний посібник / І.В. Касаткіна, С.М. Бойко, О.А. Жуков – Кривий Ріг, 2022. – 161 с.

12. ГрабкоВ.В., Розводюк М.П., ГрабенкоІ.В. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина І. Машини постійного струму: Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 86 с.

13. Розрахунок і проектування трифазного силового масляного трансформатора. Курсове проектування: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання / Розводюк М. П., Проценко Д. П., Бомбик В. С., Жуков О. А. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 149 с.

14. Жуков О.А., Барановський Я.О. Сучасні системи керування тролейбусів. Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», 23-24 травня, 2024 р., м. Чернігів, том 2, с. 205

14. Басов Г. Г. Розвиток електричного моторвагонного рухомого складу: навчальний посібник, / Г. Г. Басов, С. І. Яцько. – Харків : «Апекс+», 2005. – 248 с.

15. Тролейбус Т19101 «Електрон» [Електронний ресурс] / Режим доступу : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Електрон Т19](https://uk.wikipedia.org/wiki/Електрон_Т19).

16. IGBT-модулі. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.igbt.ru>

17. Інтелектуальні силові модулі. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://electronics.org.ua>

18. Широтно-імпульсна модуляція. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://club.shelek.ru/viewart.php?id=163>

20. Тітяєв Д. К., Мірошник Д.Н., Порівняльний аналіз векторної і традиційної широтно-імпульсної модуляції. - Донецьк: ДНТУ, 2008. – 59 с.
21. Грабко В. В., Кучерук В. Ю., Возняк О. М. Мікропроцесорні системи керування електроприводами. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2009. – 146 с.
22. Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода. Київ, «Кондор», 2003. – 408 с.
23. Жуков О.А., Доценко В.М. До питання впровадження джерел розосередженої генерації в системи електропостачання об'єктів інфраструктури електротранспорту. Всеукраїнська науково-практична конференція «Світові тенденції ресурсозбереження на електричному транспорті». Харків, 2023. С. 175.
24. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
25. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва.
26. НПАОП 40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98) Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
27. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
28. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.

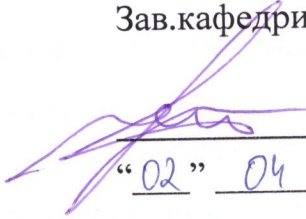
Додаток А

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри КЕМСК

К.Т.Н., доц.

 Микола МОШНОРИЗ

« 02 » 04 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську дипломну роботу

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТРОЛЕЙБУСА

08-24.БДР.001.00.000 ТЗ

Керівник роботи

К.Т.Н., доц.

 Олексій ЖУКОВ

« 02 » 04 2024 р.

Виконав: ст. гр. 1ЕМ-206

 БАРАНОВСЬКИЙ Ярослав

« 02 » 04 2024 р.

Вінниця ВНТУ 2024

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Модернізація системи керування тягового електропривода тролейбуса».

Скорочене найменування розробки – «Електропривода тролейбуса».

Замовник – Кафедра електромеханічних систем і комплексів.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем бакалаврських дипломних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Тролейбус призначений для пасажирських перевезень в містах України та за кордоном. Використовуватиметься на автомобільних дорогах міста.

4 Вимоги до розробки

Електропривод тролейбуса повинен забезпечувати надійну роботу в повторно-короткочасному режимі при великій частоті включень. Експлуатація здійснюється в нормальних умовах.

5 Технічні характеристики

Діаметр ходового колеса – 0,5715 м;

Габаритні розміри тролейбуса визначаються в залежності від потрібної компоновки машини.

6 Комплектація розробки

Тролейбус має суцільно-металевий кузов вагонної компоновки з трьома бічними дверима, колісну формулу 4х2. Приводиться в рух від електричного двигуна.

7 Етапи виконання

Основна частина	
Графічна частина	

8 Конструктивне виконання

Складові електроприводу виготовляються окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки.

9 Технічне обслуговування та ремонт

До оперативного обслуговування електроустановками допускаються працівники, які знають їхні схеми, інструкції з експлуатації, особливості конструкції та роботи обладнання і пройшли навчання та перевірку знань.

10 Показники технологічності

Електропривод тролейбуса – двигун, апаратура керування, провідники, кабелі і т.п. виконується на сучасній елементній базі.

12 Живлення електропривода

Живлення тролейбуса відбувається від мережі постійного струму напругою 600В..

13 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації бакалаврської дипломної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЯГОВОГО
ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТРОЛЕЙБУСА

Актуальність. Станом на сьогодні, тролейбусний парк України переважно є застарілим та зношеним, тому потребує оновлення або модернізації рухомого складу. Як альтернативу дороговартісній закупівлі нових тролейбусів, можна розглянути модернізацію існуючих, модернізуючи їх електропривод та систему керування.

Мета роботи: Підвищити ефективність роботи тягового електропривода тролейбуса за рахунок вибору кращої системи електропривода, що дозволить покращити динамічні показники, показники якості роботи електропривода та зменшити сумарні зведені економічні затрати при експлуатації електропривода.

Мета досягається шляхом вирішення наступних задач:

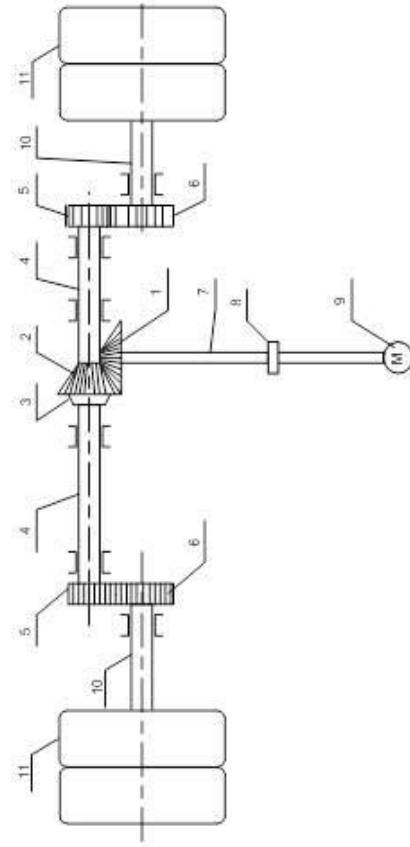
- аналіз літературних джерел по темі роботи;
- визначення основних параметрів механізму тягового приводу тролейбуса, від яких залежить вибір типу двигуна та системи керування;
- моделювання роботи системи електропривода з урахуванням динамічних режимів роботи.

Об'єкт дослідження – процес роботи тягового електропривода тролейбуса.

Предмет дослідження – різні системи тягового електропривода тролейбуса.

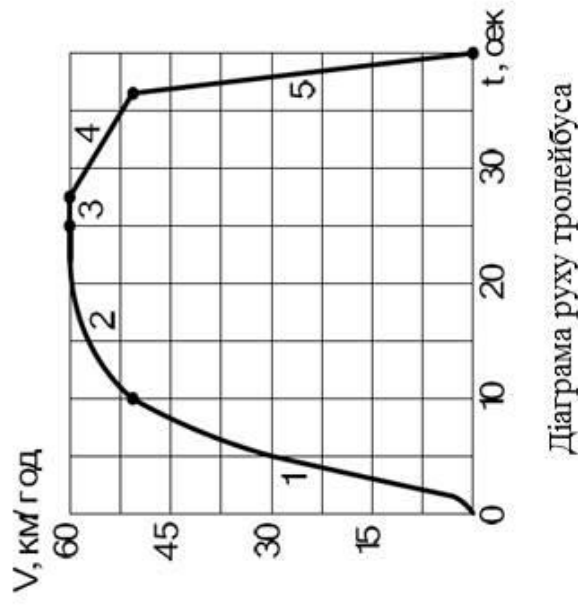
Основні технічні характеристики тролейбуса

1.	Маса спорядженого тролейбуса п.кг	11200
2.	Кількість місць для сидіння пасажирів	30
3.	Кількість місць для проїзду пасажирів стоячи з розрахунком 8 чол/кв.м	100
4.	Мінімальний підйом, який має долати тролейбус	12%
6.	Максимальна швидкість тролейбуса км/год	75
7.	Колеса типу	8,25x22,5
8.	Радіус колеса г, м	0,5715
9.	Коефіцієнт корисної дії передачі η	0,97
10.	Загальне передаточне число i	9,817
11.	Ведучий міст	гіпоїдний
12.	Крутний момент на валу M , об/хв	2600
13.	Напруга контактної мережі U , В	600



Кінематична схема механізму

1 – ведуча шестерня; 2 – ведена шестерня; 3 – диференціал; 4 – напіввісь; 5 – ведуча циліндрична шестерня; 6 – ведена циліндрична шестерня; 7 – конічний вал; 8 – електроізоляційна муфта; 9 – тяговий двигун; 10 – вісь веденої циліндричної шестерні; 11 – привідні колеса

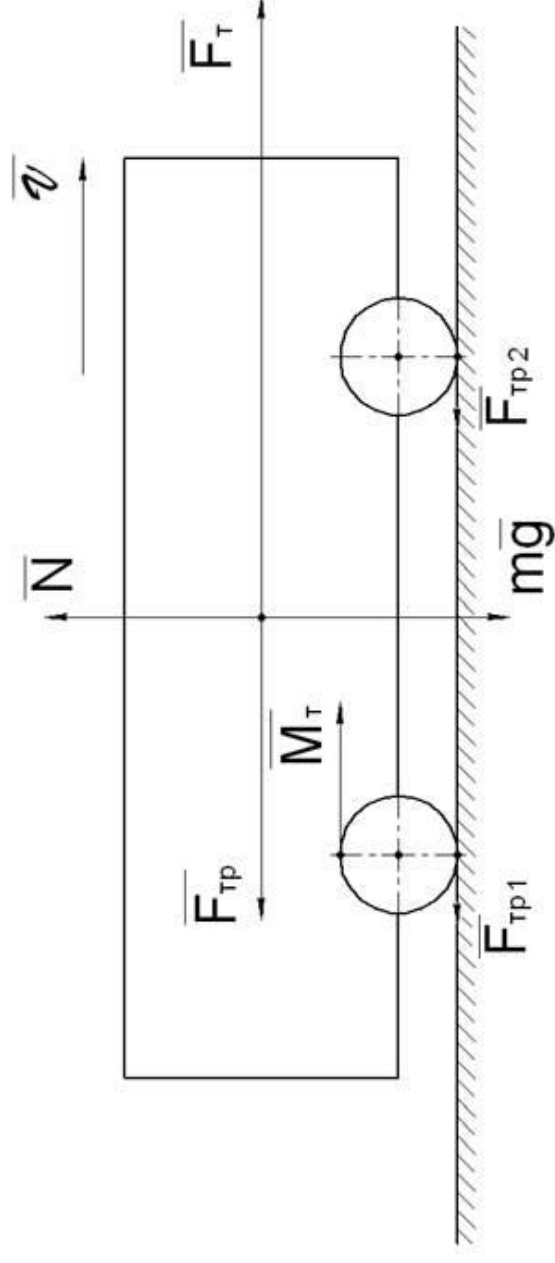


Діаграма руху тролейбуса

Ділянки діаграми:

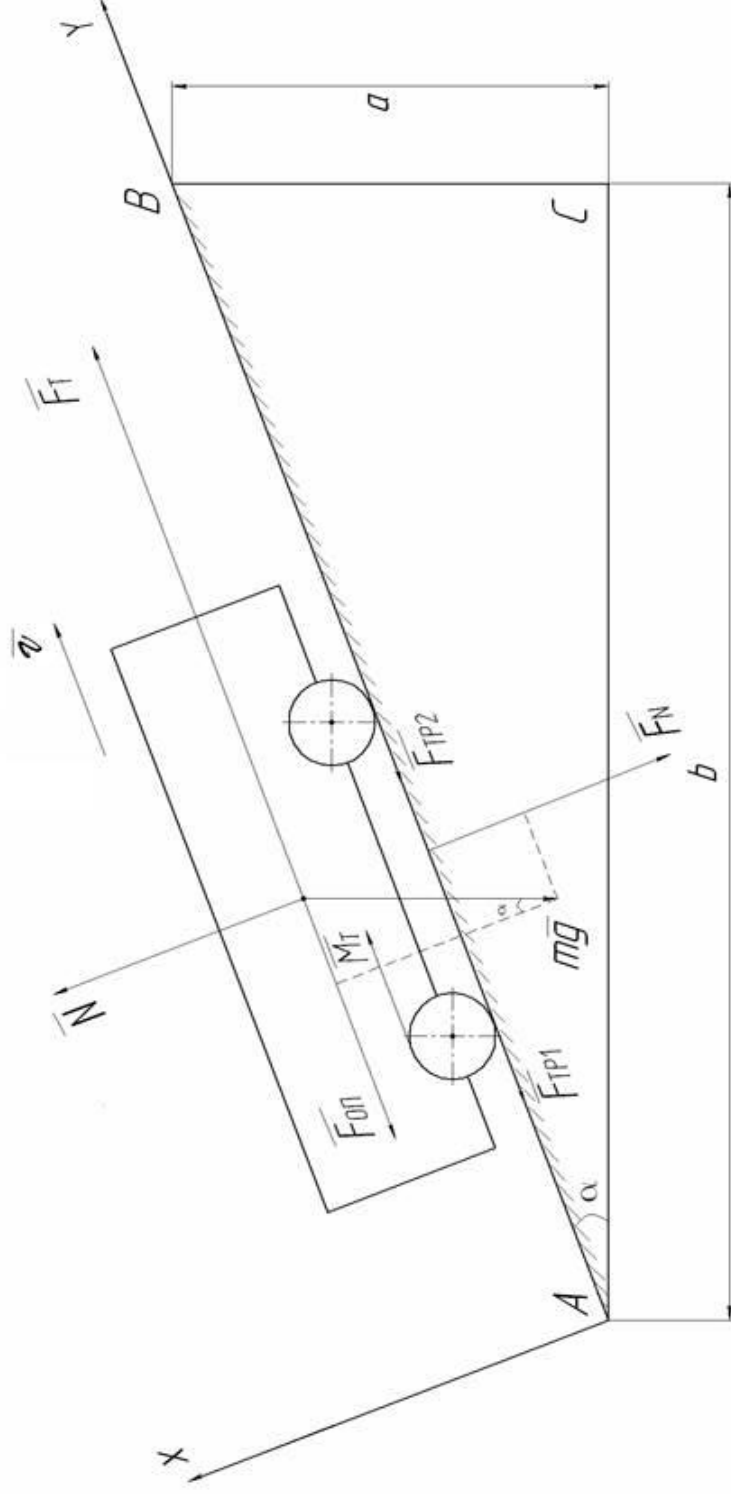
1. Розгін тролейбуса на пускових позиціях;
2. Розгін за автоматичною характеристикою;
3. Рух зі сталою швидкістю;
4. Рух за інерцією (вибіг);
5. Гальмування

Сили, що діють на тролейбус на горизонтальній ділянці руху



Сили, що діють на тролейбус при русі на підйом

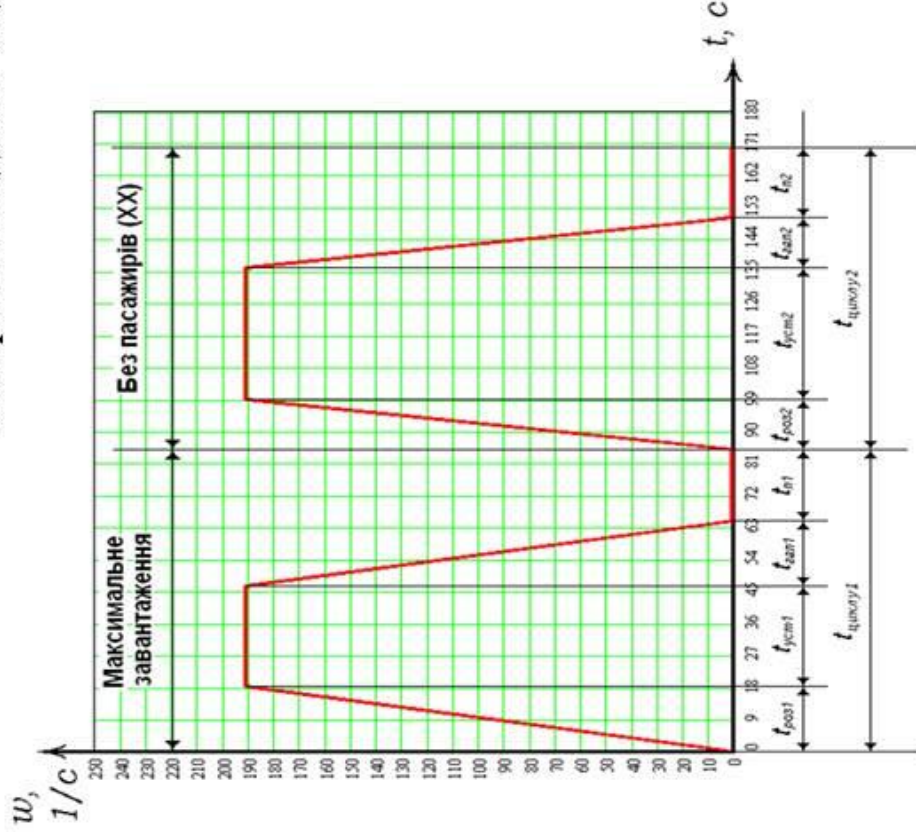
6



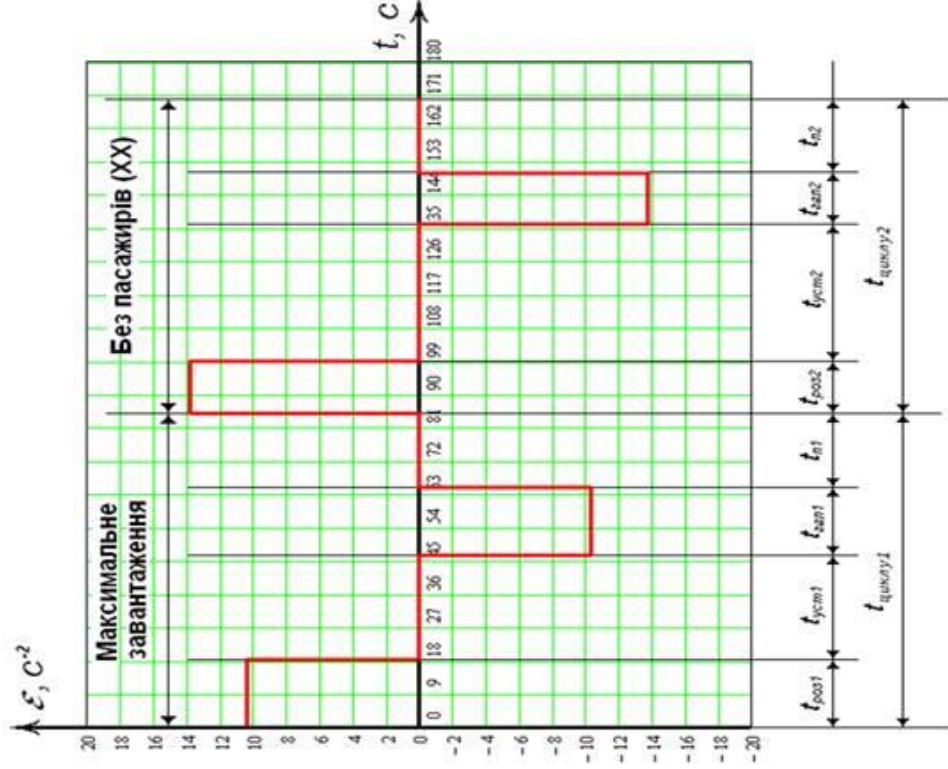
$$\vec{F}_T + \vec{F}_{mp} + \vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

$$P = \frac{V}{\eta_{mp}} (g \cdot m_{cn} \cdot \psi_\partial + k_{nos} \cdot A_{nos} V^2)$$

Тахограми швидкості та діаграми навантаження



Тахограма залежності кутової швидкості обертання ротора ω від часу t



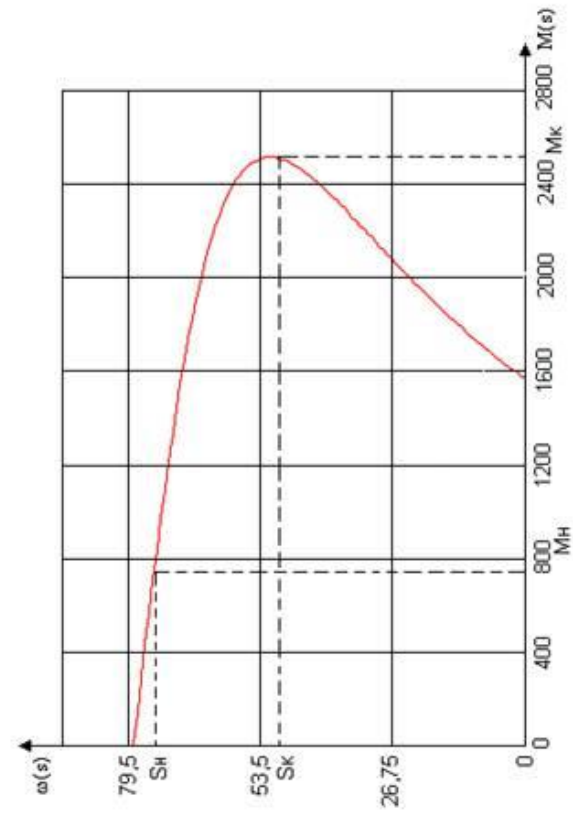
Тахограма залежності кутового прискорення ϵ від часу t

Техніко-економічне обґрунтування вибору системи ЕП

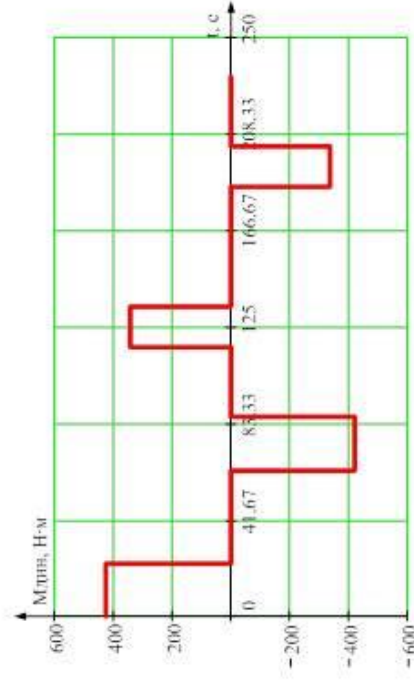
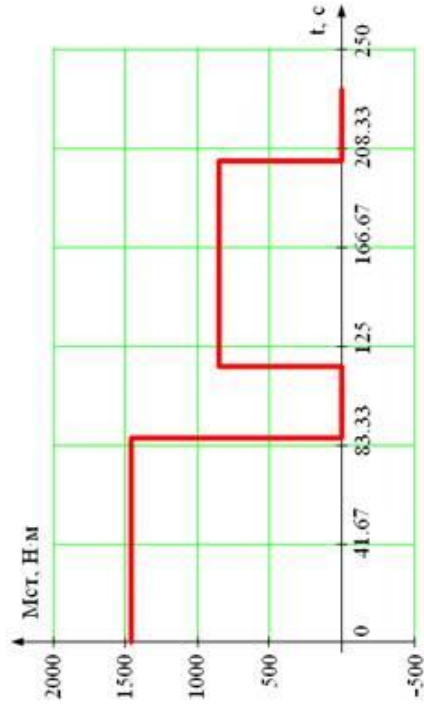
Система ЕП Показники	ШП- ДПС	РКСК- ДПС	ПЧ-АД	ТРН-АД
Вартість двигуна, грн	420000	420000	250000	250000
Вартість САК, грн	213000	253000	221000	238650
Капітальні затрати, грн	633000	673000	471000	488650
Річні капітальні затрати, грн	170910	181710	127170	131940
Експлуатаційні затрати, грн	156000	156000	156000	156000
Додаткові витрати, грн	30856	30856	30856	30856
Приведені витрати, грн	635470	646270	591730	596590
ВСЬОГО, грн	96847	91927	862730	885240

Параметри вибраного двигуна та його механічна характеристика

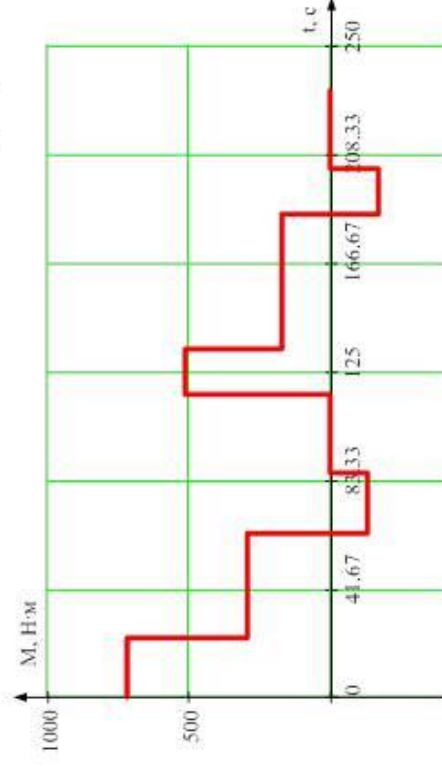
Тип двигуна	A 280S4
Потужність $P_{\text{ном}}$, кВт	110
ККД, %	94
$\cos\varphi$	0,82
Номінальна напруга, В	220/380
Маса, кг	1175
Максимальний момент M_{max} , Н·м	2600
Фазна напруга ротора $U_{2\text{ф}}$, В	248
Струм ротора I_2 , А	154
Струм статора I_1 , А	147
Кількість обертів $n_{\text{ном}}$, об/хв	750
Момент інерції $J_{\text{об}}$, кг·м ²	5,25
Номінальний момент $M_{\text{ном}}$, Н·м	1500,8



Діаграми навантаження двигуна



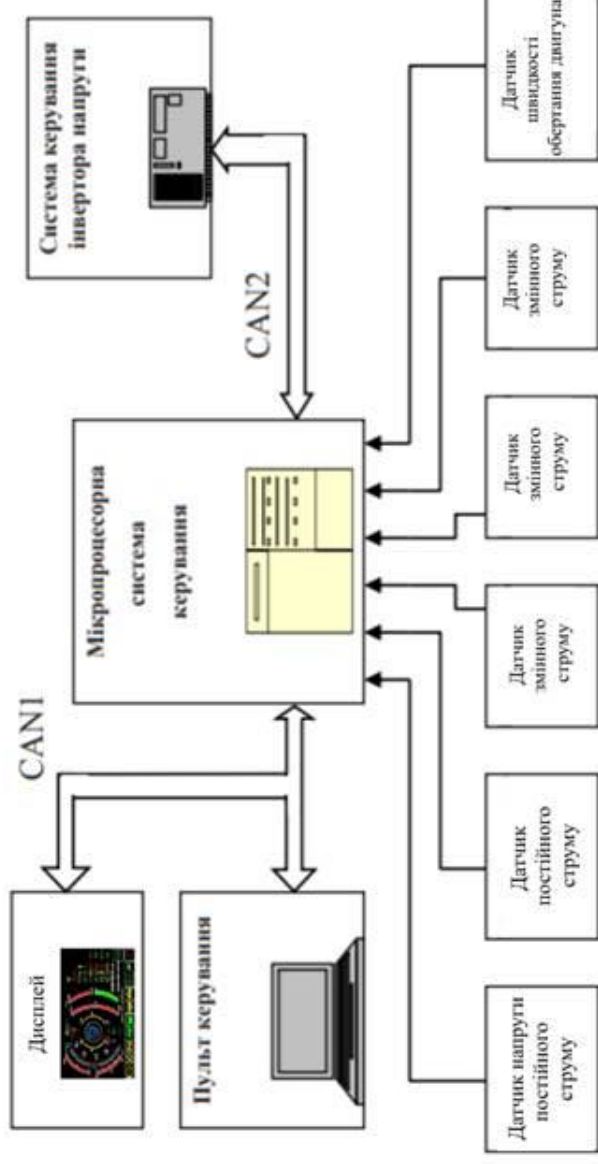
Діаграма статичного навантаження



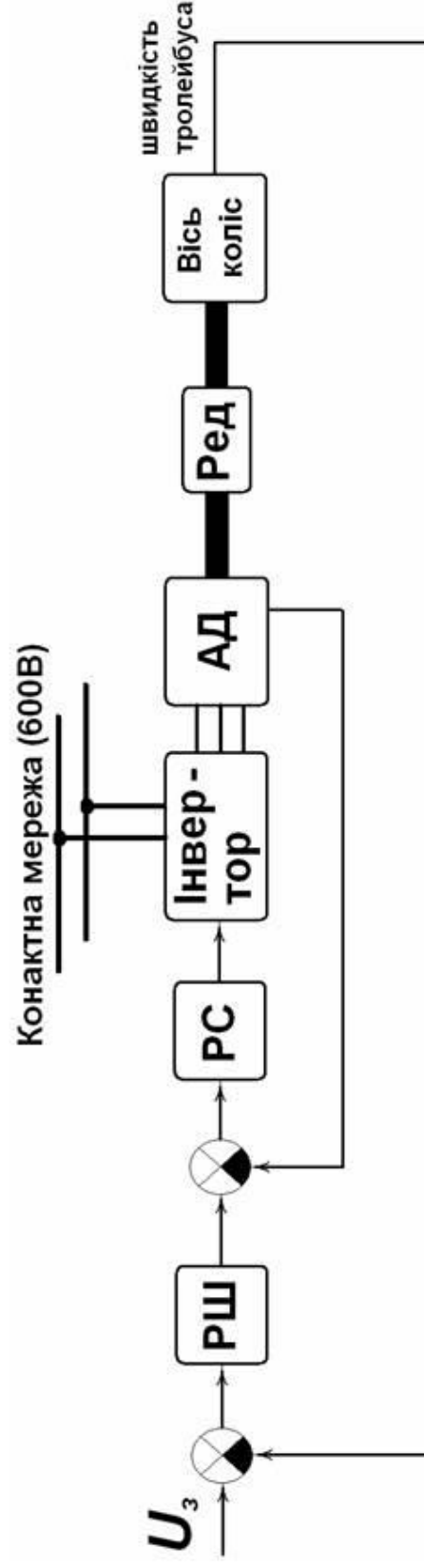
Діаграма динамічного навантаження

Діаграма сумарного навантаження

Структурна схема системи електропривода



Функціональна схема системи електропривода

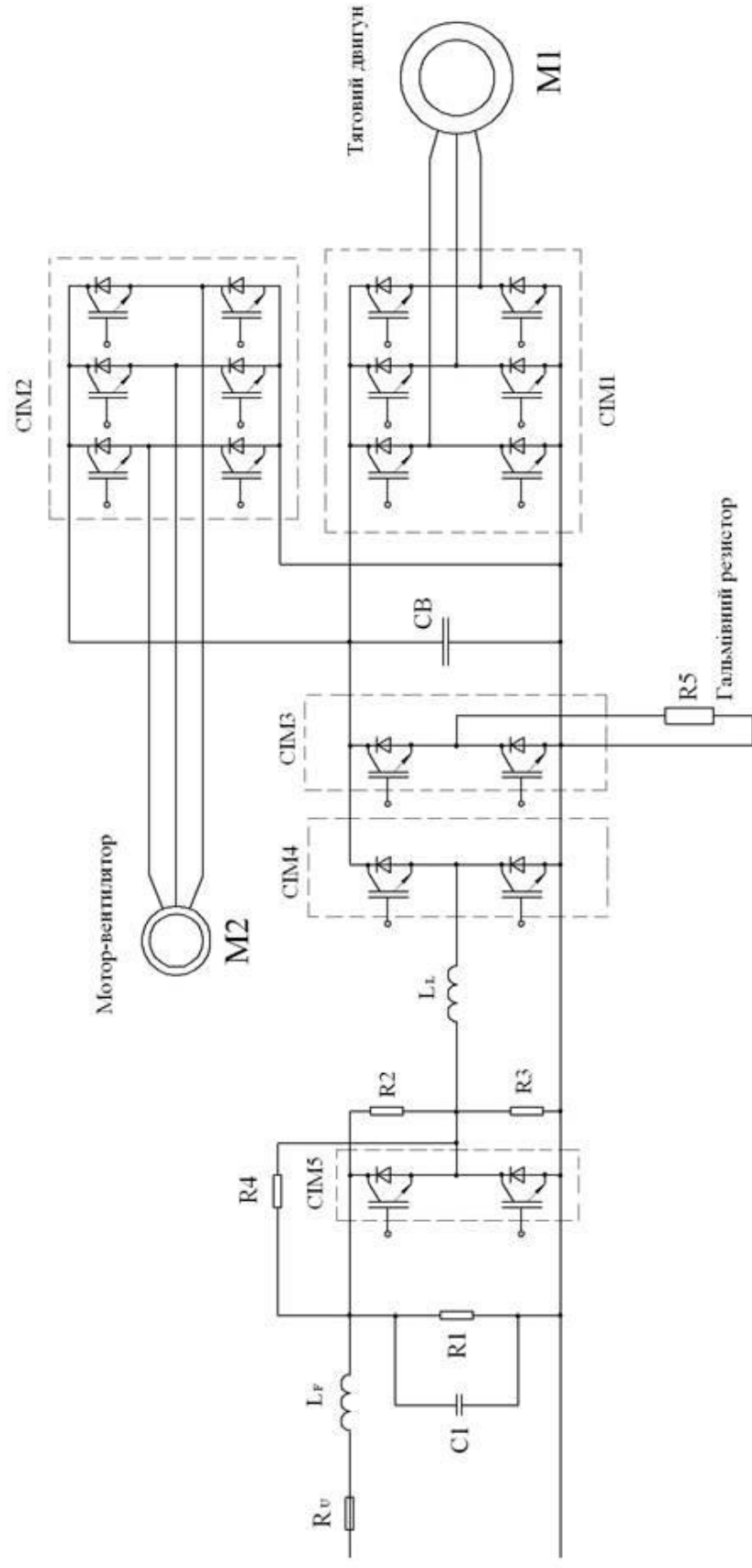


Зовнішній вигляд тягового перетворювача з блоком індикації та блоком автономного ходу



Принципова електрична схема системи електроприводу

15



Результати моделювання та дослідження системи електропривода на стійкість і якість

16

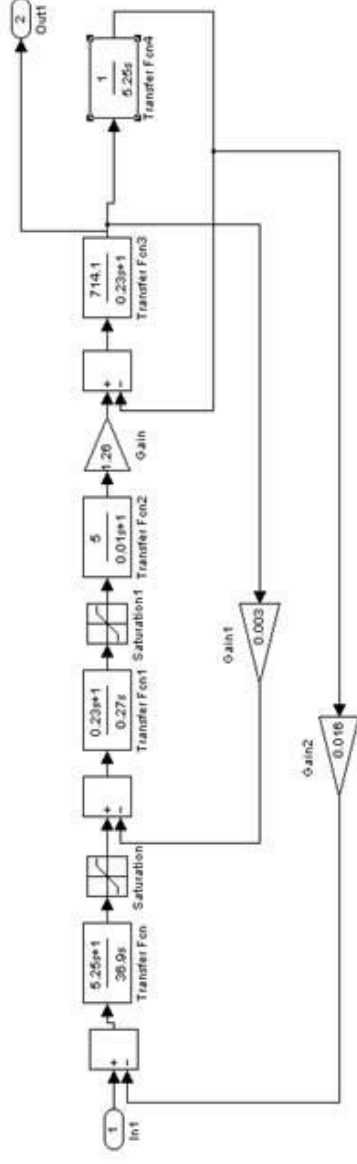
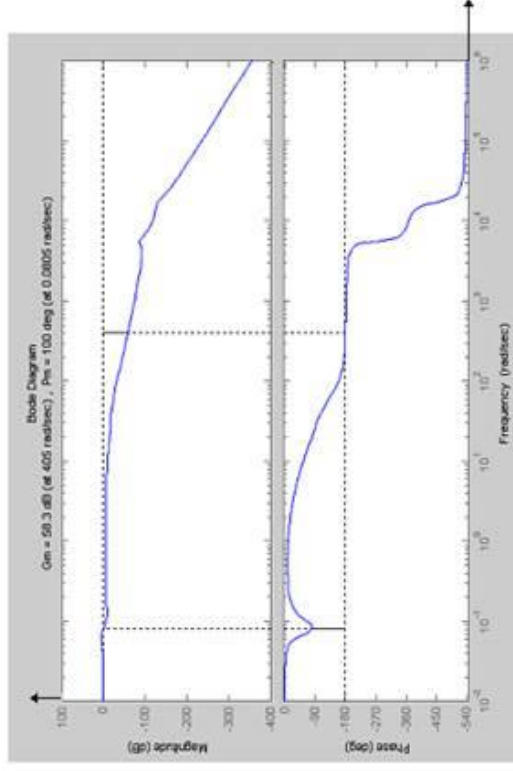
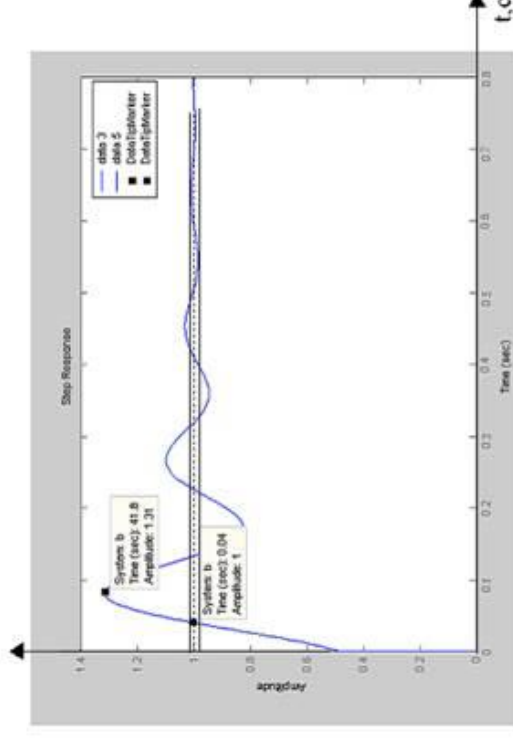


Схема моделювання системи електроприводу



Характеристика ЛАЧХ і ЛФЧХ по збурювальній дії



Перехідна характеристика

- В результаті виконання бакалаврської дипломної роботи було проаналізовано роботу електропривода та системи керування тяговим приводом тролейбуса, і обрано систему ПЧ-АД.
- Для даної системи електроприводу обрано двигун на основі розрахованої потужності.
- Перевірено обраний двигун за здатністю перевантаження.
- Побудовано природну механічну характеристику приводного двигуна.
- Система автоматичного керування тяговим електродвигуном реалізована у вигляді інвертора на базі інтелектуального силового модуля з вбудованими драйверами. Система включає чотири силові модулі різних типів, які забезпечують запуск, регулювання швидкості, реверс, рекуперативне гальмування та гальмування через гальмівний резистор.
- Проведено моделювання обраної системи, в результаті чого можна зробити висновок про адекватність поведінки системи реальним фізичним та електромеханічним процесам.
- Здійснено дослідження системи електроприводу на стійкість та якість.
- Розроблено структурну, функціональну та принципову схему системи електроприводу.
- Перевірено правильність проведених розрахунків шляхом комп'ютерного моделювання в ППП Matlab.

Опубліковано тези доповіді за результатами міжнародної конференції

«КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ - 2024»

УДК 629.7

Жуков О.А., канд. техн. наук, доцент
Барановський Я.О., студент
Вінницький національний технічний університет, alex4444_2004@ukr.net,

СУЧАСНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРОЛЕЙБУСІВ

Електричний транспорт є складовою частиною єдиної транспортної мережі України. Міський електричний транспорт перевозить близько 60 % всіх пасажирів в 54 містах нашої країни і цей показник постійно збільшується. До основних технічних вимог, що пред'являються до сучасного рухомого складу міського електричного транспорту можна віднести такі як, підвищення провізної спроможності, зниження матеріалоемності рухомого складу, забезпечення заданих прискорень та сповільнень, а також комфортних умов для пасажирів. Слід зазначити, що важливе значення має зниження енергетичних потреб, зменшення затрат на обслуговування та покращення умов праці. Але дотримання вказаних вимог наявним рухомим складом проблематично, оскільки він морально і фізично застарів [1].

Серед експлуатованих зразків міського електричного транспорту, слід виокремити тролейбуси. Тролейбуси на сьогоднішній день представлені, як ті що живляться від контактної мережі, так і зразки із можливістю автономного ходу. Електромеханічна

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: « Модернізація системи керування тягового електропривода тролейбуса»

Тип роботи: бакалаврська дипломна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. 1ЕМ-206

Науковий керівник: к.т.н., доц. Жуков О.А.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність	89 %
Схожість	11 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ☐ ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи

(підпис)

Барановський Я.О.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Жуков О.А.

(прізвище, ініціали)

					08-24.БДР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Модернізація системи керування тягового електропривода тролейбуса	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Барановський Я.О.		28.05				
Перевірив		Жуков О.А.		27.05				
Т. контр.								
						Аркуш	Аркушів	
Рецензент		Баденко О.В.		10.06		ВНТУ, гр. 1ЕМ-206		
Норм.кон.		Жуков О.А.		26.05				
Затверд.		Мошноріз М.М.		23.05				