

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ Юлія ЯМНЕНКО
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ _____ ” _____ 2020р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальністю _____ 171 Електроніка
(код і назва)

освітня програма (спеціалізація) _____ Електронні компоненти та системи

на тему: Система електроживлення тролейбуса з високовольним акумулятором

Виконав (-ла): студент _____ II _____ курсу, групи _____ ДС-91мп
(шифр групи)

_____ Мартюхін Ігор Андрійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник _____ д.т.н., професор Валерій ЖУЙКОВ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант _____ 1-4 _____ к.т.н., доц. Євген ВЕРБИЦЬКИЙ _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент _____ к.т.н., доц. каф. АМЕС Олександр ДРОЗДЕНКО _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

по нормоконтролю _____ к.т.н., доц. Лариса БАТРАК _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет Електроніки

(повна назва)

Кафедра Електронних пристроїв та систем

(повна назва)

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

Спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва)

Освітня програма (спеціалізація) Електронні компоненти та системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юлія ЯМНЕНКО
(підпис) (прізвище ініціали)

« _____ » _____ 2020 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Мартюхін Ігор Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Система електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором

науковий керівник дисертації д.т.н., професор Валерій ЖУЙКОВ,
(ім'я ПРИЗВИЩЕ, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 5 » листопада 2020 року № 3241-с

2. Термін подання студентом дисертації 9 грудня 2020 р.

3. Об'єкт дослідження живлення електроприводу тролейбуса з високовольтним акумулятором для автономного руху

4. Вихідні дані Максимальна вхідна напруга $U_{\text{вх.макс}} = 600 \text{ В}$, потужність $P = 180 \text{ кВт}$.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Огляд основних переваг та недоліків при використанні в якості громадського транспорту тролейбуса, 2. Опис системи електроживлення звичайного тролейбуса та тролейбуса з високовольтним акумулятором, 3. Розробка блок-схем електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором та системи керування, 4. Моделювання роботи системи електроживлення в програмному середовищі.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій 1. І. А. Мартюхін, М. В. Білий «Транспортний засіб з акумулятором зі зменшеними масогабаритними показниками», Електронна та акустична інженерія, вип. 2, № 1, с. 16-20, 2019. doi: 10.20535 / 2617-0965.2019.2.1.162155, 2. Мартюхін І. Система живлення тролейбусу з високовольтним акумулятором, Електронна та акустична інженерія, том 3, част.1, ст. 43-48, 2020, DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-0965.2020.3.1.200247>, 3. Мартюхін І.А., Вербицький Є.В. Система електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Вербицький Є.В., к.т.н., доц.		

9. Дата видачі завдання 28 жовтня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел за темою дисертації.	15.02.19-01.03.20	
3	Дослідження електричних машин та їх категорій.	01.03.19-01.05.20	
4	Дослідження допоміжних електроприладів та систем, які використовуються у тролейбусах.	01.05.19-01.06.20	
5	Розробка структурної схеми живлення тролейбусу та блок схеми живлення з високовольтним акумулятором.	01.06.19-01.07.20	
6	Розрахунок перетворювача з двостороннім передаванням енергії. Розрахунок 3х фазного інвертора .	01.07.19-01.08.20	
7	Дослідження векторної широтно-імпульсної модуляції.	01.08.19-01.09.20	
8	Моделювання роботи системи електроживлення в програмному середовищі	01.09.19-25.11.20	

Студент

(підпис)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Ігор МАРТЮХІН

(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Валерій ЖУЙКОВ

(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури із 32 найменувань. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 90 сторінок, у тому числі 84 сторінок основного тексту, 28 рисунків та 20 таблиць.

Дисертація присвячена розробці системи електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором. Проведено дослідження переваг та недоліків використання тролейбуса як громадського транспорту. Виконане порівняння між структурною схемою живлення звичайного тролейбуса та тролейбуса з високовольтним акумулятором. На основі режимів руху з високовольтним акумулятором запропоновано блок-схему живлення електропривода. Виконано розрахунки для перетворювачів та запропоновано систему керування. Така система дасть змогу рухатися транспортному засобу автономно навіть при відсутності централізованого електроживлення, а також під час гальмування система здатна накопичувати енергію до акумуляторної батареї. Також за рахунок використання накопиченої енергії в акумуляторі можна зменшити навантаження на мережу під час пуску при перевищенні порогового значення споживання стуму, використовуючи для живлення приводу лише батарею. Дану систему було промодельовано в програмному середовищі та представлено діаграми її роботи. Таку систему електроживлення пропонується використовувати в міському транспорті за метою підвищення мобільності та енергоефективності та при проектуванні електромобілів.

Ключові слова: система електроживлення тролейбуса, силовий акумулятор, релейне керування, рекуперація, перетворювач з двостороннім передаванням енергії.

ANNOTATION

The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of used sources of 32 items. The total volume of the dissertation is 90 pages, including 84 pages of the main text, 28 figures and 20 tables.

The dissertation is devoted to the development of the power supply system of a trolleybus with a high - voltage accumulator. A study of the advantages and disadvantages of using a trolleybus as public transport. A comparison is made between the structural power scheme of a trolleybus and a trolleybus with a high-voltage battery. Based on the modes of movement with a high-voltage battery, a block diagram of the power supply of the electric drive is proposed. Calculations for converters are performed and a control system is proposed. Such a system will allow the vehicle to move autonomously even in the absence of the network, as well as during braking, the system is able to store energy to the battery. Also, by using the accumulated energy in the battery, you can reduce the load on the network during start-up when exceeding the threshold value of the consumption of stum, using only the battery to power the drive. This system was modeled in a software environment and diagrams of its operation were presented. Such a power supply system is proposed to be used in urban transport in order to increase mobility and energy efficiency and in the design of electric vehicles.

Keywords: trolleybus power supply system, power accumulator, relay control, recuperation, converter with two-way energy transfer.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ТРОЛЕЙБУС. ПРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ.....	12
1.1 Характеристики тролейбуса	12
1.2 Економічний аспект	13
1.3 Екологічний аспект	19
1.4 Технічний аспект.....	21
1.5 Структура системи електроживлення тролейбуса	23
1.6 Електрообладнання.....	27
1.6.1 Тяговий електродвигун	29
1.6.2 Допоміжні електроприлади	32
1.6.3 Електробезпека.....	33
1.7 Переваги використання тролейбуса з акумуляторною батареєю	34
2. СТРУКТУРНА СХЕМА ТА РОЗРАХУНОК ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ... 38	38
2.1 Структурна схема.....	38
2.2 Розрахунок перетворювача з двостороннім передаванням енергії	39
2.3 Розрахунок 3х фазного інвертора та акумуляторної батареї.....	44
2.4 Керування асинхронним двигуном	47
2.4.1 Закон Костенко.....	47
2.4.2 Векторна широтно-імпульсна модуляція	50
2.1 Режими руху тролейбуса	55
3. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ	58
3.1 Принцип роботи системи керування.....	58
3.2 Моделювання системи живлення без ємнісного накопичувача.....	63
3.3 Моделювання системи живлення з накопичувачем	67
4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	71
4.1 Опис ідеї проекту	72
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	73
4.4 Розробка маркетингової програми стартап-проекту	76

ВИСНОВКИ	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	80
ABSTRACT	

ВСТУП

Актуальність. Громадський транспорт (ГТ) у містах за останні роки набув більшої уваги за для підвищення комфорту життя в мегаполісах. Економічні та екологічні показники міст можна покращити за рахунок ефективного підключення ресурсів у сфері ГТ та підвищення мобільності транспортних засобів (ТЗ). За останні два десятиліття у країнах, що розвиваються, спостерігається величезний приріст населення. Зростання чисельності населення спричинило зростання попиту на мобільність. Якщо транспортна інфраструктура не здатна задовольнити вимоги, це спричиняє збільшення тривалості очікування громадського транспорту та заторів на вулицях. Громадський транспорт може бути більш привабливим, забезпечуючи мобільність «від дверей до дверей», а розвиток транспортних послуг є важливим фактором для життя у мегаполісах. Стійкість транспорту, екологічні умови місцевості, охорона здоров'я та економічний стан мешканців можна підвищити шляхом переходу до більш мобільного громадського транспорту. Ця зміна відбудеться за умови, що громадський транспорт буде широко доступним для населення. У контексті міської економіки та географії доступність, яка є одним із найважливіших результатів транспортної системи, визначається як полегшення доступу до певної місцевості чи локації. Це дозволить покращити доступ до інших послуг. Основна мета оцінки доступності громадського транспорту - забезпечити краще сполучення між пасажиром та місцем призначення з метою зменшення заторів на дорогах. Простими словами, мобільність за допомогою громадського транспорту надає можливість зменшити несприятливий вплив використання автомобілів на стан навколишнього середовища та здоров'я. Рівень мобільності міста можна покращити, забезпечивши добре організовану транспортну систему. Отже, доступність зупинок громадського транспорту, сполученість видів громадського транспорту та мобільність системи повинні розглядатися для забезпечення

зручної для користувачів системи громадського транспорту. Доступ до послуг та доступність міського громадського транспорту завжди були головними пріоритетами для пасажирів. При розробці мережі транзитних послуг, дослідники частіше орієнтуються на мінімізацію витрат користувачів. Наявність інфраструктури, доступність, скорочення часу та витрати є важливими чинниками забезпечення привабливого громадського транспорту з доступом від дверей до дверей. Отже, забезпечення ефективного громадського транспорту з точки зору доступності є однією з головних цілей у мегаполісах усього світу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація була підготовлена відповідно до науково-дослідного плану кафедри електронних пристроїв та систем Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського".

Мета і завдання дослідження: розробка системи електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором.

Для досягнення мети розглядалися наступні задачі:

- вивчення переваг та недоліків використання тролейбусів як міського транспорту;
- порівняння системи електроживлення звичайного тролейбуса з системою електроживлення тролейбусу з акумуляторною батареєю;
- розробка структурної схеми електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором;
- розрахунок перетворювачів (3-х фазного перетворювача та перетворювача з двостороннім передаванням енергії);
- розробка системи керування для системи електроживлення;
- моделювання системи живлення в програмному середовищі Matlab та представлення діаграм її роботи.

Об'єкт дослідження — транспортний засіб з комбінованою системою акумуляування енергії.

Предмет дослідження — система електроживлення транспортного засобу з високовольтним акумулятором.

Методи дослідження: теоретичні положення дисертації побудовані на базі економічних, екологічних та технічних аспектів для визначення доцільності використання тролейбусу як громадського транспортного засобу. Також на основі дослідженої літератури з керування асинхронним двигуном створено модель системи електроживлення тролейбуса в програмному середовищі Matlab.

Наукова новизна одержаних результатів:

- запропоновано використання комбінованої системи електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором, для підвищення мобільності та зменшення навантаження на мережу;
- розроблено методику керування системою електроживлення тролейбуса для зменшення навантаження на мережу під час пуску та рекуперації енергії в акумулятор під час гальмування з використанням релейного управління.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблено систему електроживлення живлення тролейбусу з високовольтним акумулятором та покращеною енергоефективністю;
- представлено розрахунок перетворювачів для системи електроживлення;
- показано розрахунок акумуляторної для автономного руху тролейбусу.

Дану систему рекомендується використовувати для міського транспорту та при розробці електромобілів.

Апробація результатів дисертації. За темою дисертації було виконано виступ на конференції «Електроніка-2020».

Публікації. 1. І. А. Мартюхін, М. В. Білий «Транспортний засіб з акумулятором зі зменшеними масогабаритними показниками», Електронна та акустична інженерія, вип. 2, № 1, с. 16-20, 2019. doi: 10.20535 / 2617-

0965.2019.2.1.162155, 2. Мартюхін І. Система живлення тролейбусу з високовольтним акумулятором, Електронна та акустична інженерія, том 3, част.1, ст. 43-48, 2020, DOI: <https://doi.org/10.20535/2617-0965.2020.3.1.200247>.

3. Мартюхін І.А., Вербицький Є.В. Система електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури із 32 найменувань. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 90 сторінок, у тому числі 84 сторінок основного тексту, 28 рисунків та 20 таблиць.

1. ТРОЛЕЙБУС. ПРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ

1.1 Характеристики троллейбуса

Ідея використання троллейбусів у громадському міському транспорті була більш спірною, ніж будь-які інші громадські транспортні засоби. Причиною цього є те, що з об'єктивного економічного аспекту простір впровадження троллейбусів знаходиться у дуже вузькому інтервалі між міськими автобусами та трамваями. Економічно обґрунтована реалізація троллейбусів становить приблизно від 500 до 2500 перевезених пасажирів на годину [1]. Часто переваги та недоліки окремих типів транспортних засобів для громадського міського транспорту проаналізовані недостатньо. Зазвичай перевізники в громадських міських районах вибирають трамваї або автобуси. Автобуси охоплюють ті маршрути, які не були б економічно вигідними, якби трамвайний рух був прокладений, а для більшої кількості пасажирів, яких потрібно перевозити за одиницю часу, зазвичай застосовують трамваї. Однак, беручи до уваги зростаючу турботу про навколишнє середовище, міська влада великих європейських міст дедалі частіше вважає введення троллейбусів у міському транспорті більш раціональною. З метою досягнення кращого розуміння можливостей впровадження окремих типів транспортних засобів для громадського міського транспорту, будуть проаналізовані їх переваги та недоліки.

Слово троллейбус має англійське походження, що означає автобус, який має візки для електропостачання від повітряної лінії зв'язку [2]. При порівнянні індивідуальних транспортних засобів для міського транспорту зазвичай встановлюються критерії, які є важливими для прийняття рішень щодо впровадження окремих типів транспортних засобів. Зазвичай такі критерії:

- економічні,
- трафіку,

- екологічні;
- технічні критерії.

1.2 Економічний аспект

Економічний аспект часто є вирішальним при виборі типу транспортного засобу, оскільки він безпосередньо впливає на бізнес-успіх перевізника. Оскільки зазвичай автобуси працюють у районі, який міг би бути охоплений тролейбусним транспортом, слід передбачити, які витрати необхідні на впровадження та реалізацію автобусів порівняно з тролейбусами [3].

Для введення автобусів по відношенню до тролейбусів з новою електрифікацією маршруту порівняльні витрати наведені в табл. 1.1 на прикладі швейцарських умов.

Таблиця 1.1

Витрати на впровадження автобусів порівняно з тролейбусами у мільйонах

Вид собівартості	Інтервал (хв)	Автобус	Тролейбус
Транспортний засіб	10	1,20	2,20
	5	2,40	4,40
Контактна лінія			2,75
Загально	10	1,20	4,95
	5	2,40	7,15

Існує дуже велика різниця в ціні придбання нових транспортних засобів. Тролейбуси приблизно на 80% дорожчі, ніж автобуси. Таку велику різницю в ціні можна пояснити тим, що автобуси виробляються та замовляються значно більшими партіями, ніж тролейбуси, що безпосередньо впливає на витрати виробництва. Це може змінитися, якщо кількість міст і ліній з тролейбусами значно збільшиться, і якщо виробники встановлять більш гнучке виробництво транспортних засобів відповідно до вимог різних перевізників.

При аналізі витрат також слід враховувати час амортизації, який в основному може суттєво відрізнятися залежно від способу експлуатації, але можна вважати, що життєвий цикл тролейбусів в середньому становить від 15 до 22 років, а автобусів від 10 до 12 років. Це означає майже вдвічі більший час амортизації для тролейбусів, що безпосередньо зменшує витрати на щорічному рівні.

Вагомою статтею витрат на введення тролейбусів є витрати на встановлення контактної лінії, тобто електрифікація маршруту, яку можна покрити лише перевезенням більшої кількості пасажирів за одиницю часу (рис.1.1). Кількість пасажирів / год - максимальна кількість в години пік. Інтервал залежить від місткості транспортних засобів та від кількості пасажирів / год. Це можна побачити на презентації загальних витрат за 10-хвилинний та 5-хвилинний інтервал. Таким чином, співвідношення загальних витрат на тролейбуси та автобуси дорівнює 4,125 в 10-хвилинному інтервалі та 2,98 в 5-хвилинному інтервалі.

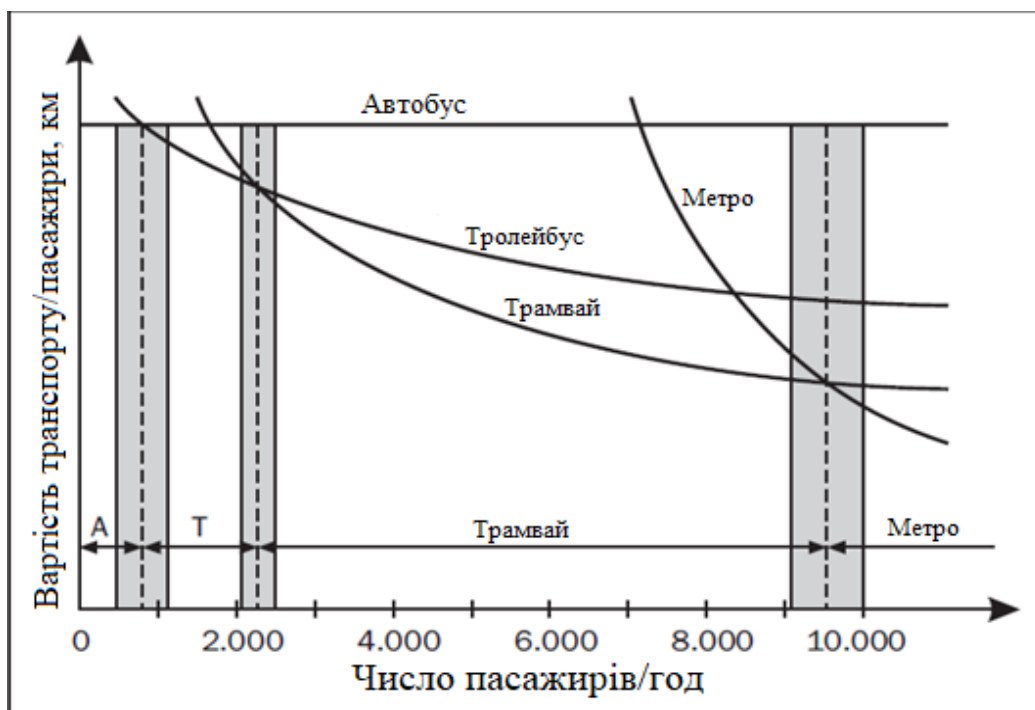


Рис. 1.1 Економічне обґрунтування реалізації певних транспортних засобів

Однак, беручи до уваги різні періоди амортизації транспортних засобів та лінії зв'язку, співвідношення загальних витрат поліпшується на користь тролейбусів. Так, для середнього амортизаційного періоду для автобусів 11 років, тролейбусів 16 років та для контактної лінії 22 роки та шляхом розрахунку витрат введення тролейбусів в експлуатацію на 277% дорожче за 10-хвилинний інтервал, і 207% на 5-хвилинний. Час амортизації контактної лінії відрізняється в залежності від компонентів. Таким чином, час амортизації самого контактного дроту значно коротший, але з іншого боку, час амортизації опорних деталей та стабільних установок значно довший. Тому тут використовується середній час амортизації [4].

Аналіз витрат на використання певних типів транспортних засобів показує, що витрати на рух і обслуговування на кілометр їзди на тролейбус дещо вищі (приблизно на 7%), ніж на автобус (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Операційні витрати з включеними витратами на технічне обслуговування на км їзди

Ціна		Автобус	Тролейбус
Фіксо	Експлуатація транспортного засобу	0,40	0,50
	Експлуатація контактного проводу		0,40
	Загальна експлуатація	0,40	0,90
Змінна	Енергія	0,30-0,38	0,30-0,34
	Обслуговуючий персонал	5,50	5,50
	В середньому	0,70	0,70
	Загальна експлуатація	6,50-6,58	6,50-6,54
Загалом фіксована та змінна вартість		6,90-6,98	7,40-7,44

Це пов'язано насамперед із збільшенням постійних експлуатаційних витрат на тролейбусний контактний провід. За змінних витрат енерговитрати на тролейбус дещо нижчі, ніж на автобуси, що при адекватній політиці ціноутворення на енергоносії може бути ще більш сприятливою для тролейбусів. Різниця між загальними постійними та експлуатаційними витратами дещо менша через дуже високу частку витрат осіб, зайнятих на реалізацію операції, які однакові в обох системах [5].

Беручи до уваги всі витрати, представлені в табл. 1.1 і 1.2 (інвестиційні витрати на впровадження системи + експлуатаційні витрати з включеними витратами на обслуговування) та зменшення їх до км проїзду за 5 хвилинний такт, приблизно 7,75 CHF за км їзди на автобусі та отримують 9,15 за км на проїзд для тролейбуса, що становить різницю приблизно в 18%. Враховуючи лише економічні причини, представлені результати змушують багато перевізників у громадському міському транспорті світу обрати для введення автобуси замість тролейбусів, хоча це стосується кількості пасажирів за годину, яку слід перевозити тролейбусами.

Під час глибшого аналізу витрат на енергію, тобто переваг одинарних систем, тролейбуси мають перевагу. Це повинно мати все більше значення в майбутньому, що стосується дорожчої енергії та її доступності в майбутньому. Для більш повного розуміння наведено переваги одиничних вузлів та пристроїв та загальну користь для автобуса (з гідромеханічною коробкою передач та з передачею електроенергії) та для тролейбуса. ККД окремих вузлів і пристроїв в автобусах і тролейбусах наведено в табл. 1.3. Тролейбуси мають можливість повернення енергії в контактну лінію під час гальмування, що суттєво сприяє економії енергії та представляє перевагу порівняно з автобусами. Однак на сучасних автобусах почали встановлювати електропередачу, яка також дозволяє перетворити кінетичну енергію під час гальмування в електричну енергію, яка може зберігатися у належних накопичувачах електричної енергії (батареях чи суперконденсаторах) [6]. Однак це рішення не дозволяє відновити енергію в тій мірі, в якій це відбувається в тролейбусах. З таблиці видно, що ефективність з відновленням відносно підвищення потужності в автобусах з електропередачею від 0,42 до 0,5504, а також у тролейбусах для енергетичних електростанцій (ТЕС, що використовують кам'яне вугілля) з ефективністю від 0,60 до 0,81. Коли це підвищення ефективності перекладається на економію енергії, то відновлення в автобусах з передачею електроенергії реалізує близько 20% енергозбереження, а в тролейбусах близько 35% енергозбереження.

Таблиця 1.3

Пристрій		Автобус з гідродинамічною коробкою передач	Автобус з електричною передачею потужності (електрична коробка передач)	Тролейбус
Дизельний двигун (ДД), електростанція		0,42 – ДД	0,42 - ДД	0,6 - електростанція
Ефективність з рекуперацією енергії		-	-	0,81
Високовольтна мережа 150 ÷ 380кВ		-	-	0,98
Високовольтна мережа 6 ÷ 150кВ		-	-	0,98
Трансформатор + випрямляч		-	-	0,97
Контактна лінія (600 В -DC)		-	-	0,95
Передача потужності	Коробка передач	0,93 - гідромеханічна	0,93 - генератор + випрямляч	-
		-	0,98 - інвертор IGBT	0,98 - інвертор IGB
		-	0,93 - електродвигун	0,93 - електродвигун
	Універсальний вал	0,99	0,99	0,99
	Головна передача	0,95	0,95	0,95
Загальна потужність передачі		0,875	0,797	0,857
Всього від приводу до коліс		0,367	0,335	0,455
Енергозбереження шляхом відновлення		-	20%	35%

Повна ефективність всього ланцюга перетворення та передачі енергії з джерела енергії (у дизельних двигунах це дизельне паливо, а в тролейбусах - кам'яне вугілля, яке використовується для живлення теплових електростанцій для отримання електроенергії) на колеса, для автобусів з гідромеханічною коробкою передач становить 0,367, для автобусів з електричною передачею

електроенергії 0,335, а для тролейбусів 0,455. Це означає більший загальний ККД тролейбусів на 24% порівняно з автобусом з гідромеханічною коробкою передач і на 36% порівняно з автобусами з передачею електроенергії.

Розглядаючи регіон ЄС, слід зазначити, що була здійснена дерегуляція ринку електроенергії, що призвело до зниження ціни на електроенергію до 60% для великих споживачів. Слід вважати, що в майбутньому ціна електроенергії може впасти, маючи на увазі перевищення виробничих потужностей та посилення конкуренції. З іншого боку, ціна нафти на світовому ринку є відносно високою, і очікується, що вона зросте лише в майбутньому. Такі тенденції цін на енергоносії на світовому ринку дають шанс автомобілям громадського міського транспорту з електричним керуванням стосовно автомобілів, що працюють на паливі на масляній основі.

У європейських країнах громадський міський транспорт націлений на розвиток [7]. Це в свою чергу дозволяє різним перевізникам приєднатися до цього виду транспорту. Перш за все, на що вони звертають увагу, це отримання прибутку від цієї діяльності. Оскільки громадський міський транспорт не є прибутковим видом діяльності, вимагаються стимули від міста. Прибутковість у громадському міському транспорті важко реалізувати через дотримання розкладу незалежно від кількості перевезених пасажирів через певні проміжки часу та через відносно велику кількість осіб, які мають безкоштовний проїзд або знижену ціну (школярі, люди похилого віку, інваліди тощо). Якщо в місті потрібно організувати громадський транспорт, який використовує електромобілі, то введення тролейбусів - це рішення з найменшими інвестиціями. Проблема дорожчих транспортних засобів по відношенню до автобусів можна вирішити більшим парком та довгостроковою концесією. Від виробників тролейбусів очікується вищий рівень стандартизації та більша конкурентоспроможність з метою зниження ціни на транспортні засоби. Введення тролейбусів сприяло б також екологічним стандартам для міських центрів, в яких дорожній рух повинен

бути дозволений лише для транспортних засобів з нульовими шкідливими викидами.

Аспекти трафіку

Порівнюючи згадані системи за заданими критеріями, можна сказати, що найменші відмінності є в аспекті руху. Автобуси та тролейбуси, а саме, що стосується руху та технічних характеристик дуже схожі. Що стосується зовнішнього та внутрішнього вигляду, розмірів, кількості пасажирських сидінь, чистої та валової маси, навантаження на вісь, середньої робочої швидкості, то вони подібні. Суттєва відмінність полягає у прискоренні та можливості подолання підйомів, що є результатом сприятливої тяги, характерної для електродвигуна. Тролейбуси проходять перехрестя та / або криві з невеликим радіусом з трохи меншою швидкістю, ніж автобуси.

1.3 Екологічний аспект

Екологічний аспект стосується насамперед порівняння шкідливих викидів, які утворюються окремими транспортними засобами, у навколишнє середовище та рівня шуму в транспорті.

Тролейбуси являють собою екологічно чисті транспортні засоби, які не створюють шкідливих викидів, якщо враховувати лише зону руху транспортних засобів. Однак щодо тролейбуса в більш широкому контексті, тобто з урахуванням виробництва електричної енергії, необхідної для приведення в рух тролейбусів, умова може істотно відрізнитися залежно від джерела електроенергії.

Шкідливі викиди, які утворюються автобусами, залежать від віку та технічного стану, насамперед самого дизельного двигуна та його пристроїв. Викиди нових автобусів обмежені нормами, які діють на момент

виробництва автобусів, наприклад, Euro3, Euro4, Euro5. Справа в тому, що кожен новий стандарт передбачає значне зменшення дозволених шкідливих викидів, насамперед оксиду азоту (NOx) та твердих часток. Таким чином, на даний момент діє стандарт Euro5 (дозволені викиди для важких дизельних двигунів становлять: 1,5 г / кВт · год для CO, 0,46 г / кВт · год для HC, 2,0 г / кВт · год для NOx та 0,02 г / кВт · год для твердих часток) та планується введення стандарту Euro6 із значним зменшенням дозволених викидів по відношенню до Euro5 (1,5 г / кВт · год для CO, 0,13 г / кВт · год для HC, 0,4 г / кВт · год для NOx та 0,01 г / кВт · год для твердих часток). Це означає, що в майбутньому автобуси будуть генерувати все менше і менше шкідливих викидів, тобто вони стануть екологічнішими. Однак є факт, що автобуси ніколи не досягають нульових шкідливих викидів, як тролейбуси, незалежно від того, чи використовує двигун дизель як паливо, біодизель чи це газовий двигун.

Згадана екологічна перевага тролейбусів порівняно з автобусами може мати вирішальний вплив у виборі типу транспортного засобу для міського транспорту. Особливо в містах, де атмосфера сильно навантажена шкідливими компонентами. Умовою для цього є достатня кількість пасажирів для тролейбусів і те, що введення трамваїв або метро не є економічно вигідним. Введення тролейбусів може зменшити додаткове забруднення навколишнього середовища. Рішення про можливу реалізацію тролейбусів має стимулюватися податковою політикою або адекватними стимулами муніципальних та державних органів, щоб перевізники могли знайти для цього економічне обґрунтування.

Екологічна перевага тролейбусів по відношенню до автобусів відбивається і на аспекті шуму. Тролейбус тихіший за рівнем шуму, який у випадку, автобуса збільшуються внаслідок роботи дизельного двигуна. Ця характеристика особливо підкреслюється на маршрутах із гірськими ділянками, коли дизельний двигун працює при більших навантаженнях і видає більший шум. Ця перевага виходить на перший план також на

маршрутах через переважно житлові райони, де необхідний нижчий рівень шуму [8,9].

1.4 Технічний аспект

Для впровадження тролейбусів необхідно мати наявності достатню кількість електроенергії за прийнятною ціною та щоб для планування маршруту тролейбуса існували технічні умови для встановлення контактної лінії електротягових підстанцій та для їх підключення до високовольтної контактної лінії.

Специфічна характеристика тролейбусів порівняно з трамваєм чи метро полягає в тому, що він працює на гумовій пневматиці вздовж дороги, на відміну від трамваїв чи метро, які їдуть на сталевих колесах уздовж сталевих рейок. Це суттєво впливає на спосіб енергопостачання та заземлення. Оскільки електричний ланцюг не може замикатися на тролейбусі через колеса, контактний провід повинен складатися з двох провідників (+ і -). Через неможливість заземлення через колеса електричне обладнання повинно мати додаткову ізоляцію (зазвичай потрійну ізоляцію), особливо близько до дверей та інших місць, де пасажери можуть контактувати з високою напругою. Частина електрообладнання знаходиться під високою напругою, що проходить від контактної лінії, і становить 600 В або 750 В. Такі додаткові заходи щодо безпеки пасажирів від ураження електричним струмом збільшують вагу автомобіля та його ціну.

До 1980-х років тролейбуси були обладнані пристроями регулювання швидкості руху, що означало додаткові втрати електричної енергії на опори регулювання. Далі пішов період введення напівпровідникових елементів в пристрої регулювання для зміни напруги на тягових електродвигунах, тобто для регулювання швидкості руху транспортного засобу. Спочатку використовувались тиристори, потім - IGBT-транзистори. Таким чином споживання електричної енергії було зменшено приблизно на 40%.

Залежність тролейбусів від контактної лінії можна зменшити, встановивши акумуляторну батарею та перетворювач, який би мав змогу працювати в обидві сторони, як на заряд так і на розряд батареї. Ця технологія поєднує в собі переваги класичного тролейбуса та електричного автобуса. Існують економічні дослідження, які стверджують, що використання таких тролейбусів є найбільш вигідним із наявних на сьогодні акумуляторних зелених технологій [10].

Такі тролейбуси можуть допомогти зменшити споживання енергії, викиди парникових газів, забруднення та шум. Однією з можливих концепцій є зарядка в русі. Тролейбус з акумуляторною батареєю може працювати лише в режимі батареї, і тому кількість встановлених накладних контактних проводів може бути значно зменшена. Порівняно електробусами, тролейбус з акумуляторною батареєю є найбільш економічно ефективною системою автобусів для ліній великої пропускної здатності.

Тролейбус, що працює від акумулятора - це транспортний засіб, що використовує електричний двигун. Електроенергія в основному отримується від наземних контактних дротів, встановлених над дорогою. Однак, у порівнянні зі звичайним тролейбусом, він має перевагу в можливості проїзду через ділянки маршруту без таких наземних контактних дротів. Це досягається додаванням додаткового джерела енергії. Існує два можливих підходи до додаткового джерела енергії. Одним з них є додавання дизельного двигуна, який служить електричним генератором для головного електричного тягового двигуна і вмикається лише на частинах маршруту без накладних контактних проводів. Більш цікавий та екологічно чистий спосіб - це додати акумулятор, який можна заряджати на електрифікованих секціях, а також шляхом рекуперації. Акумулятори, що використовуються в транспортному засобі, можуть бути меншими, вони служать лише допоміжним джерелом живлення. Цей підхід також утворює менш екологічно небезпечні відходи при заміні тягової батареї. Тяговий акумулятор також має значно меншу ємність, ніж тяговий акумулятор у

звичайних електробусах, але він може забезпечити достатню потужність для подолання деякої відстані без накладних контактних проводів. Основними перевагами є також те, що транспортним засобам ніколи не потрібно зупинятися, щоб зарядити свої батареї. Їх ефективність однакова під накладними дротами та з батареями. Існує також значний потенціал економії енергії тролейбуса з акумуляторною батареєю. Результати опублікованих досліджень показують, що можна заощадити до 20% енергії порівняно зі звичайним тролейбусом. Очікується, що загальна вартість тролейбусів з акумуляторною батареєю буде більшою, ніж у традиційних тролейбусів, але експлуатаційні витрати тролейбусів з акумуляторною батареєю, включаючи технічне обслуговування очікується, що вона буде нижчою, ніж традиційні тролейбуси.

1.5 Структура системи електроживлення тролейбуса

Електропостачання транспортного господарства буває двох типів: централізоване і децентралізоване. У першому випадку одна потужна підстанція виробляє живлення прилеглої до неї великої контактної мережі (ціла гілка), розбитою на ділянки, які розташовані на різній відстані від підстанції. У другому випадку кожна ділянка мережі живиться від двох або однієї малопотужної підстанції. На лінії біля підстанції розміщується ізолятор, який розділяє її на дві ділянки. Це більш надійний спосіб, тому що при виході з ладу підстанції, завжди можна жити аварійну ділянку від сусідньої.

Схема електропостачання трамвая і тролейбуса зображена на рис. 1.2.

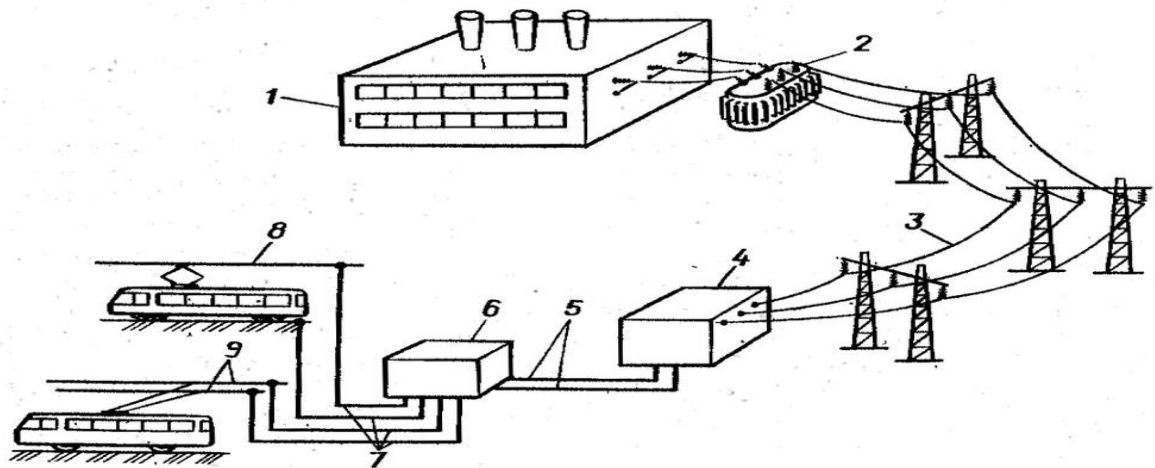


Рис. 1.2 Електропостачання трамвая і тролейбуса

Для того щоб живити контактну мережу, електрична енергія проходить ряд перетворень: на електростанції (1) виробляється електроенергія і передається на підстанцію (2), яка підвищує напругу для зменшення втрат при транспортуванні по високовольтних лініях електропередач ЛЕП (3) на велику відстань. У місті, на понижувальній підстанції (4) відбувається зменшення напруги до 6 або 10 кВ. Далі кабельними лініями (5) відбувається з'єднання з тяговими підстанціями (6), в яких і відбувається перетворення змінного струму в постійний з напругою 600В. Контактна мережа (8,9) живиться від тягових підстанцій. Номінальна напруга для струмоприймача пересувних складів складає 550В.

На перших трамваях раніше використовувалася третя рейка – контактна рейка. Від неї доволі швидко відмовились через ряд проблем: під час дощу виникали короткі замикання, а нормальному контакту заважали бруд та опале листя. Зараз для трамваїв використовується повітряна контактна мережа (один дріт). Струмоприймач трамваю (пантограф, штанга) розміщений на даху вагону. З допомогою нього трамвай живиться постійним електричним струмом. Рейки ж є мінусом в такому електричному ланцюзі. З тролейбусною контактною мережею трохи інакше. Тут корпус ізольований від доторкання із землею [11].

Тролейбуси, як правило, розроблені як двовісні транспортні засоби з одним кузовом завдовжки 11-12 м, що має 85-115 місць для пасажирів, або тривісні з двомісним кузовом (шарнірні), довжиною 15-18 м, які пропонують 145 - 180 місць для пасажирів. Середня робоча швидкість тролейбуса аналогічна швидкості автобусів і трамваїв, коливається від 15 до 35 км / год. За середнього користування та звичайного проїзду транспортних засобів тролейбуси з єдиним кузовом можуть перевозити 2500 - 3500 пасажирів на годину, а ті, що мають подвійний кузов - 4000 - 4500 пасажирів на годину. Це також діапазон транспортної місткості автобусів, тоді як пропускна здатність трамваїв більша, залежно від конструкції трамваїв.

Тролейбуси можуть бути побудовані і поза всіма цими основними категоріями, такі як двовісні з одномоторним кузовом менших розмірів і потужностей, двовісні та тривісні тролейбуси з двоповерховим кузовом, тролейбуси з причепами та інше також чотирирівні тролейбуси.

Порівнюючи характеристики тролейбусів та автобусів, перевагами тролейбусів є наступне:

- сприятлива тяга, характерна для електродвигунів. Це означає, що при низькій швидкості електродвигун досягає високого крутного моменту, а при збільшенні швидкості крутний момент зменшується. Тому ці транспортні засоби не потребують спеціальної передачі потужності, яка була б використана для трансформації крутного моменту. Вони мають широкий діапазон регулювання крутного моменту та швидкості;

- електричне гальмування зменшує навантаження та знос фрикційних елементів повітряного гальма, що зменшує вимоги та витрати на технічне обслуговування транспорту;

- можливість застосування автоматизації у всіх сегментах експлуатації транспортних засобів;

- легке і зрозуміле управління;

- екологічно чистий транспортний режим, оскільки він не виділяє шкідливих газів згоряння і видає дуже низький рівень шуму;

–вища енергоефективність.

Тролейбусна система руху зазвичай проектується з одним тяговим двигуном, і рідше, в деяких зчленованих конструкціях троллейбусів, з двома тяговими двигунами. Тягові електродвигуни раніше були серійними двигунами постійного струму, а останнім часом вони є трифазними асинхронними електродвигунами. У цьому випадку в приводні колеса можуть бути встановлені електродвигуни і їх кількість відповідає кількості приводних коліс. Встановлена потужність на троллейбус коливається від 110 до 180 кВт. Сила тяги при запуску одноагрегатних троллейбусів становить $22 \div 30 \text{ кН}$, а для шарнірних троллейбусів $44 \div 52 \text{ кН}$. Максимальна швидкість троллейбусів зазвичай становить 60 км / год, рідше - до 80 км / год. Вони можуть досягти середнього прискорення до $1,5 \text{ м/с}^2$ в діапазоні до 70% від максимальної швидкості. Регулювання сили тяги і швидкості тяги на старих троллейбусах було резисторним, а нові рішення застосовують тиристорне регулювання, або регулювання IGBT-напівпровідниками.

Удосконалені рішення для руху троллейбусів дозволяють здійснити його і на ділянках маршруту, які не були електрифіковані. Використання вдосконалених накопичувачів для зберігання енергії, таких як батареї, суперконденсатори або ультраконденсатори, дозволяє працювати без подачі від контактної лінії на протязі 3 км. Це цікаво для міських середовищ, де технічно неможливо прокласти електрифіковану контактну мережу. Крім того, троллейбус можна сконструювати з подвійним режимом (гібридний), який крім електричного приводу використовує і дизельний двигун. Такі троллейбуси використовують електричну привід на електрифікованій ділянці маршруту, а дизельний двигун - на неелектризованій частині маршруту. Це рішення дозволяє пасажиром їздити на більш тривалих маршрутах, не змінюючи транспортний засіб, наприклад, не потрібно буде пересідати від троллейбуса до автобуса, щоб дістатися точки призначення.

Електроживлення троллейбуса забезпечується від дротів контактної мережі за допомогою одного або декількох сполучних пристроїв, зазвичай

включають два струмознімача. (В разі застосування напрямних систем може використовуватися один струмознімач або пантограф.) Струмознімач складається з пристосування для кріплення до даху (основа струмоприймача), штанги, струмознімальних головок і змінної контактної вставки. Струмознімачі встановлюються таким чином, щоб вони могли переміщатися в горизонтальному і вертикальному напрямках. Струмознімач повинен допускати обертання не менше ніж на $\pm 55^\circ$ навколо вертикальної осі і не менше ніж на 20° навколо горизонтальної осі своєї основи, встановленого на тролейбусі. Штанги повинні виготовлятися або з матеріалу, що забезпечує ізоляцію, або з металу, покритого ізоляційним матеріалом, що представляє собою функціональну ізоляцію для запобігання короткого замикання між повітряними контактними мережами при випадковому від'єднанні від контактної мережі (сходу з контактного проводу), і повинні бути стійкі до механічних ударів.

1.6 Електрообладнання

Ланцюги живлення тролейбуса поділяються на декілька типів: низьковольтні (12, 24, 28В) та високовольтні (550В). ланцюги з високою напругою отримують живлення від контактної мережі безпосередньо від струмоприймачів. Наступним же після струмоприймача встановлюється радіореактор – це так званий електричний фільтр, який відсіює перешкоди від мережі в ланцюзі живлення тролейбуса та навпаки. Такий фільтр перешкоджає виникненню неполадок у системі керування. Автоматичні вимикачі та запобіжники необхідні для ланцюгів з високою напругою, щоб захистити систему від коротких замикань та перенавантажень. До високовольтної мережі входять наступні компоненти:

- тяговий електродвигун та система керування;

•у разі відсутності напруги в мережі або ж опущених струмоприймачах, використовується пристрій для забезпечення автономним рухом тролейбуса;

- мотор-компресор (необхідний для роботи пневматичних приводів);
- мотор-вентилятор (необхідний для охолодження електричних приборів, які розсіюють велику потужність);
- пристрої для підтримання мікро клімату в салоні тролейбуса;
- пристрої для перетворення напруги живлення для ланцюгів з низькою напругою.

Низьковольтні ж ланцюги мають гальванічну розв'язку від високовольтних та необхідні для живлення малопотужних пристроїв, таких як;

- додаткові механізми (відкривання дверей, двірники, ...);
- освітлення;
- система керування (бортовий комп'ютер, керування двигуном).

При відсутності високовольтної напруги, живлення низьковольтного ланцюга відбувається за рахунок встановлення акумуляторної батареї.

В кабіні сучасних тролейбусів не має високовольтного обладнання. Панель приборів складається з таких індикаторів:

- напруга мережі;
- відсутність мережі;
- заряд акумулятора;
- перевищення струму витоку або потенціалу на корпусі тролейбуса.

Для кращого охолодження повітрям акумуляторні батареї встановлюються окремо від салону в місцях, які добре обдуваються.

1.6.1 Тяговий електродвигун

Електричні машини постійного струму переважно застосовуються для руху міського електротранспорту. Вони поділяються на такі категорії: машини з послідовним збудженням, паралельним і змішаним.

Натомість всі машини поділяються на дві категорії. Перша категорія складається з тягових двигунів, основна задача яких полягає в перетворенні електричної енергії в механічну. Інша ж категорія складається з допоміжних машин (двигуни та генератори) їх використовують як приводи для компресорів, вентиляторів та низько вольтних генераторів. Такі двигуни переважно з послідовним збудженням.

Двигуни ж з паралельним збудженням широко використовуються як приводи контролерів та генераторів для різних задач, основною задачею яких є живлення обладнання бортової мережі.

Для руху тролейбуса необхідний один тяговий двигун, який розрахований на напругу 550В.

Такі двигуни використовуються, щоб приводити в рух тролейбус, а також застосовуються під час електродинамічного або рекуперативного гальмування. Тролейбуси з тяговими електродвигунами постійно модернізувалися, існують декілька етапів їх розвитку.

Тяговий електродвигун з низькими обертами, такі двигуни були встановлені на перших тролейбусах.

Тягові електродвигуни постійного струму змішаного збудження високообертові. Такі двигуни встановлювалися на тролейбусах МБТ-82.

Такий двигун досить простий у керуванні та конструктивно, а також в одному пристрої послідовне та паралельне збудження.

В сучасних тролейбусах широко використовуються асинхронні двигуни. До переваг таких двигунів можна віднести простоту конструкції та малі габаритні розміри. За рахунок того, що у таких двигунів відсутній щітково-колекторний вузол, то вони позбавлені такого недоліку, як знос

щіток та елементів колектора від тертя, іскріння та підгорання при поганому їх контакті та необхідності у постійному обслуговуванні [12, 13].

Системою керування називається система, яка регулює протікання струму через двигун.

Реостатно-контакторна система керування (РКСУ) – регулювання струму відбувається за рахунок потужних опорів, які підключаються за допомогою контакторів. Існує три типи такої системи керування.

Безпосередня система керування – це найперша система керування на тролейбусах. Водій сам комутує опори в електричних ланцюгах ротора та обмоток, за рахунок перемикання важелів.

Непряма неавтоматична РКСУ – водій за рахунок важеля або педалі керує комутацією низковольтних електричних сигналів, якими керуються високовольтні контактори.

Непряма автоматична РКСУ – в такій системі є спеціальний серводвигун, який керує замикання та розмикання контактів. Який буде розгон та гальмування заздалегідь визначається часовою послідовністю конструкції РКСУ.

Тиристорно-імпульсна система керування – так система керування створює необхідний по величині струм не за рахунок комутування опорів, а шляхом формування часової послідовності струмових імпульсів певної частоти та скважності. При зміні цих параметрів можна керувати частотою обертів двигуна. У такій системі керування високий ККД, оскільки теплові втрати зведені до мінімуму [14].

Електронна система керування (транзисторна система керування) – в таких системах використовуються мікроконтролери, які програмуються. Це одне з найекономічніших рішень по використанню енергії та найсучасніше.

Найбільш перспективною для масового впровадження в міський електротранспорт системою управління тяговим приводом тролейбуса є система управління тяговим електродвигуном (ТЕД) змінного струму, у

зв'язку з високими техніко-економічними показниками і надійністю її роботи. Спрощена функціональна схема тягового асинхронного приводу представлена на рис. 1.4.

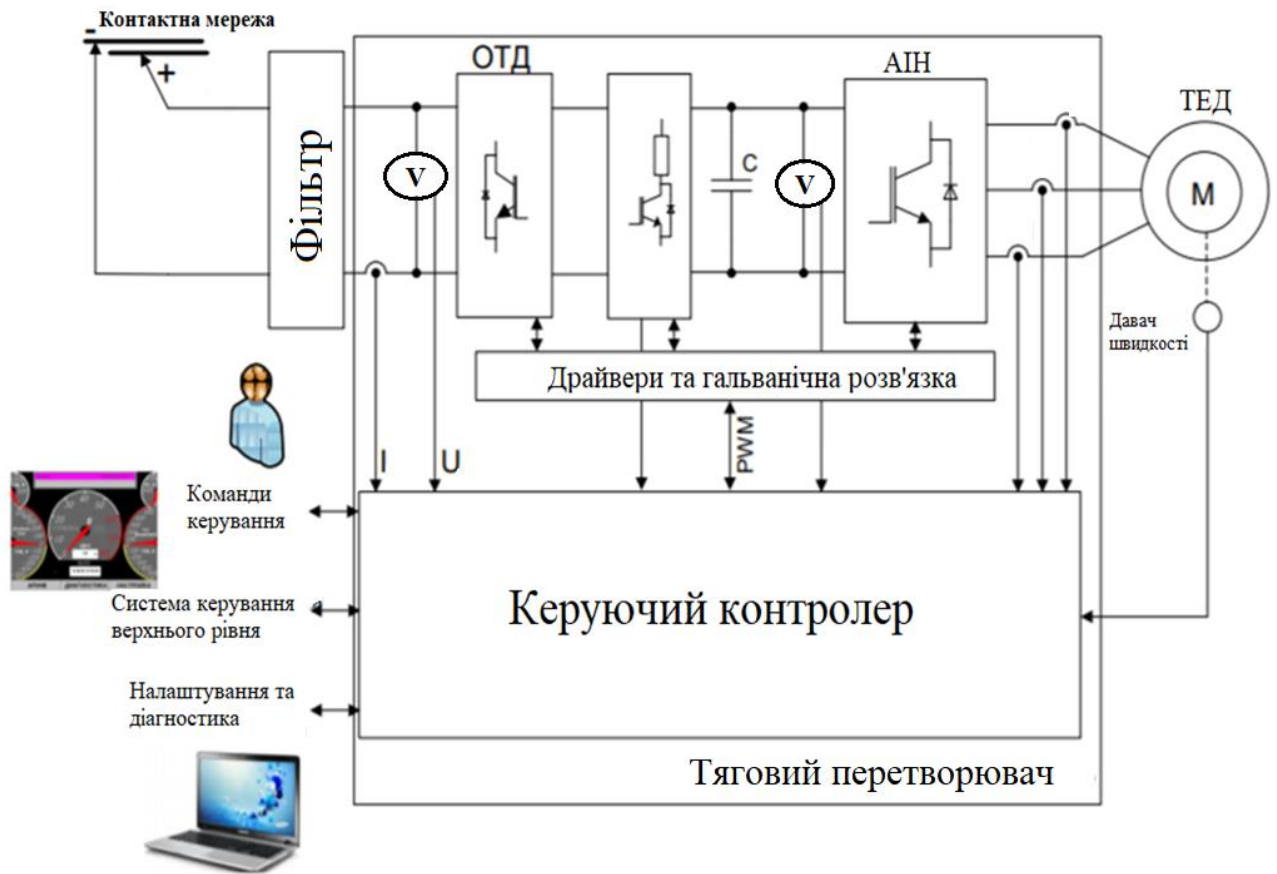


Рис1.4 Спрощена функціональна схема тягового асинхронного приводу

Тягові електромеханічні системи на основі асинхронних двигунів є більш енергоефективності та дозволяють здійснити рекуперацію накопиченої енергії назад в контактну мережу при гальмуванні, за що відповідає відділювач ланки постійного струму від контактної мережі (ОТД). Однак такі системи вимагають більш дорогого автономного інвертора напруги (АІН) для живлення асинхронного ТЕД і складніших алгоритмів керування. В якості силових елементів використовуються IGBT ключі. Сучасні тягові перетворювачі використовують цифрові сигнальні процесори в якості керуючих пристроїв, що дозволяють застосовувати сучасні методи і

алгоритми управління для ТЕД змінного струму (синхронними і асинхронними).

Контролер з таким процесором здійснює формування режимів роботи електроприводу із заданими параметрами за допомогою ШІМ (PWM), відпрацювання сигналів захисту і аварійного відключення електроприводу, прийому і передачі зовнішніх керуючих, які задають і інформаційних сигналів. Для зв'язку з іншими пристроями системи використовуються надійні протоколи передачі даних: CANopen, ModBus та інші. Система з мікропроцесорним управлінням має такі переваги: економія електроенергії до 25% (в порівнянні з РКСУ); безступінчасте регулювання швидкості; рух за будь-якої полярності напруги (перемикання відбувається автоматично); дистанційна зміна напрямку руху (реверсування); самодіагностика з виводом світлової і звукової інформації на лицьову панель блоку управління і панель управління в кабіні водія. Тяговий електропривод змінного струму виробляються такими світовими компаніями як Medcom, Skoda Electric, Cegelec і Siemens, ABB, Alstom, Bombardier і т.д. Незважаючи на свою істотну вартість, тролейбуси з комплектними тяговими електроприводами змінного струму поповнюють ряди тролейбусного парку України: ЛАЗ-Е301 (ЕлектроЛАЗ-20, ElectroLAZ-20), АКСМ-321, ЛАЗ Е183 (ЕлектроЛАЗ-12, ElectroLAZ-12).

1.6.2 Допоміжні електроприлади

Для вимкнення або ж вимкнення двигунів компресорів, вентиляторів акумуляторних батарей, освітлення, опалення т.д. використовуються допоміжні електроприлади. Переважна кількість допоміжного електрообладнання живиться від окремого низьковольтного джерела (12 або ж 24В), гальванічно розв'язаного від ланцюгів з високою напругою. Для того, щоб отримати напругу низького рівня застосовуються мотор-генератори або ж статичні перетворювачі. Якщо ж напруга високого рівня відсутня, то для живлення бортової мережі використовується акумулятор. В перших

тролейбусах була відсутня гальванічна розв'язка, ланцюги з низькою напругою підключалися через баластні опори або ж послідовно. Таке підключення має свої недоліки такі як: ураження струмом, розсіювання потужності на баластних опорах, нестабільність низьковольтного ланцюга.

1.6.3 Електробезпека

При виникненні струму витоку в наслідок створення різниці потенціалів між кузовом троллейбусу та землею може виникнути загроза для людини. Найбільша загроза виникає при посадці або ж висадці пасажирів, оскільки людина тримається за поручень, а ногами вже стоїть на землі. Тому вимоги до ізоляції та проектування троллейбусів є дуже жорсткими (2 клас захисту від ураження струмом). Також ізолятори повинні витримувати всілякі умови такі як: забруднення та потрапляння вологи. Тяговий двигун повинен бути відокремлений від карданного вал текстолітовою шайбою, а також така шайба встановлюється між карданним валом та ведучим мостом. Існують спеціальні електропровідні шини для троллейбусів. Електроізолятори, які встановлені на троллейбусі необхідно кожного дня продувати стисненим повітрям, а також протирати та вимірювати струми витоку на кузов троллейбуса. Не допускається використання транспортного засобу, якщо струми витоку на кузов перевищують 3мА.

Тролейбус повинен бути обладнаний бортовим індикатором або іншим пристроєм для постійного контролю струму витоку або захисту людей при появі струму витоку. Встановлення пристрою контролю струму витоку не виключає періодичного огляду високовольтної ізоляції обладнання в умовах транзитного обслуговування.

Стійки біля дверного отвору повинні бути виготовлені з утепленого матеріалу або покриті міцною ізоляцією. Опір ізоляції повинен бути не менше 1,0 МОм на 100 +/- 5 см².

Перші кроки при вході до тролейбуса повинні бути зроблені по поверхні з міцною ізоляцією. Опір ізоляції повинен бути не менше 1,0 М при 300 +/- 5 см².

Дверні панелі повинні бути ізольовані від кузова тролейбуса. Опір ізоляції повинен становити 1,0 МОм принаймні на 300 +/- 5 см².

Бокова стінка, прилегла до отворів дверей, повинна бути покрита ізоляцією. Ізольована зона повинна виходити на ширину щонайменше 50 см з кожної сторони від отворів дверей і заввишки не менше 200 см від проїжджої частини. Опір ізоляції корпусу тролейбуса не повинен бути менше 1,0 МОм при 200 +/- 5 см² [15].

Раніше на даху тролейбуса знаходився тільки радіо реактор, а інше електрообладнання знаходилося під полом. Але так компоновка не була вдалою, оскільки це загрожувало пасажирам, адже тролейбус не міг рухатися по калюжі завглибшки 10см, а також взимку реагенти пришвидшували знос ізолюючих частин. Тому в сучасних тролейбусах все обладнання розташовується на даху. У такої компоновки є переваги такі як: низький поли, зниження шуму під час руху та покращення охолодження, але і є недолік. В такому випадку необхідна окрема система опалення салону.

1.7 Переваги використання тролейбуса з акумуляторною батареєю

Розглядаючи структурну схему тролейбуса (рис.1.5), можемо зауважити, що він складається з мережі до якої підключається перетворювач, щоб понизити напругу до напруги мережі. Живлення до електроприводу підводиться через радіореактор за для зменшення завад. Акумулятор в такому випадку слугує для підтримання живлення бортової мережі та приводів додаткових механізмів (відкривання дверей освітлення, ...)у разі

відсутності мережі. Недоліком такої системи є те що енергія під час гальмування розсіюється на гальмівному резисторі.

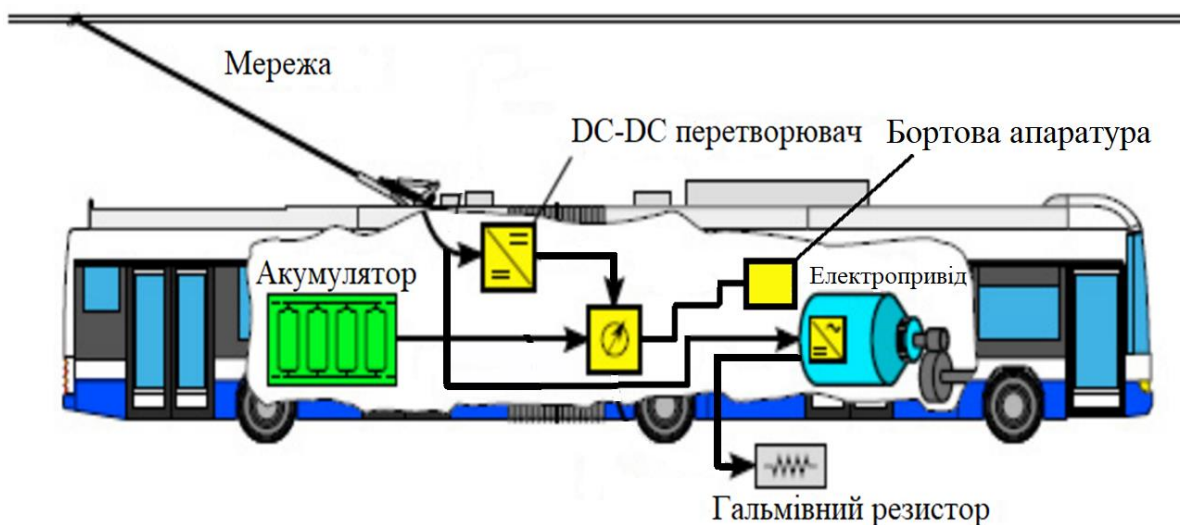


Рис.1.5 Структурна схема тролейбуса

Головна відмінність у структурі тролейбуса з можливістю рухатися без контактної мережі – це наявність силового акумулятора, який дає змогу забезпечити необхідний рух (рис. 1.6). А також за рахунок встановлення додаткового перетворювача з двостороннім передаванням енергії з'являється можливість рекуперувати енергію до батареї та використовувати цю енергію під час розгону.

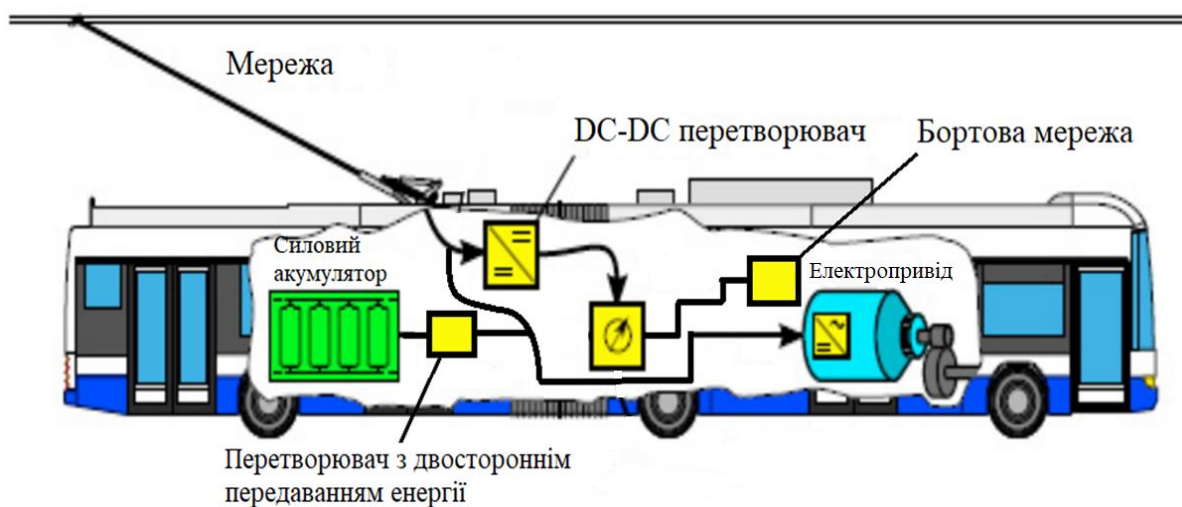


Рис. 1.6 Структурна схема тролейбуса з тяговою акумуляторною батареєю

Тягові батареї є дуже важливим компонентом для тролейбуса з акумулятором. Перевага цієї нової технології полягає в тому, що для автономного руху тролейбуса достатньо батареї меншої від 2 до 10 разів меншої ніж у електробуса. Крім того в такому разі при відсутності мережі або зміни маршруту тролейбус може продовжити свій рух.

Найважливіший параметр акумулятора – це ємність. Якщо встановлювати акумулятор високої ємності, то вага транспортного засобу буде збільшуватися, це призводить до меншої пасажиромісткості. Також при установці акумулятора великої ємності збільшується вартість транспорту. Батареї, які найчастіше використовуються – це нікель-кадмієві, літій-іонні та літій-титанооксидні. Літій-іонні батареї мають відношення ємності до ваги в три рази більше ніж нікель-кадмієві. Ємність літій-іонної акумуляторної батареї масою 800 кг складає 80 кВтгод. Дальність руху тролейбуса з тяговою акумуляторною батареєю варіюється від 10 до 30 км в залежності від ємності батареї, температури навколишнього середовища, маршруту, завантаження транспортного засобу та інше [16, 17].

Також можна зазначити, що рекуперація енергії має значний потенціал економії енергії, в разі якщо тролейбус з акумуляторною батареєю обладнаний такою технологією. Потенціал економії енергії складає приблизно від 0,3 до 0,6 кВтгод/км. Тому під час гальмування тролейбуса енергію можна рекуперувати до акумуляторної батареї, в такому разі енергія не буде розсіюватися на гальмівних резисторах. Також під час пуску електродвигуна можна використовувати енергію акумулятора, що дозволить зменшити навантаження на мережу.

Висновки до першого розділу

Можемо підсумувати, що використання тролейбусу в міському транспорті є більш доцільно в порівнянні з автобусами, завдяки відсутності викидів вуглекислого газу. Було виділено основні переваги та недоліки такого

транспортного засобу. Включаючи один суттєвий недолік, такий як прив'язка до контактної мережі, але він нівелюється за рахунок акумуляторної батареї. Також було розглянуто схеми живлення звичайного тролейбусу та тролейбусу з силовим акумулятором.

Отже, метою даної дисертації є створення системи електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором, яка б дала змогу зменшити навантаження на мережу під час розгону транспортного засобу, а також за допомогою додаткового перетворювача мала змогу рекуперувати енергію до батареї під час гальмування.

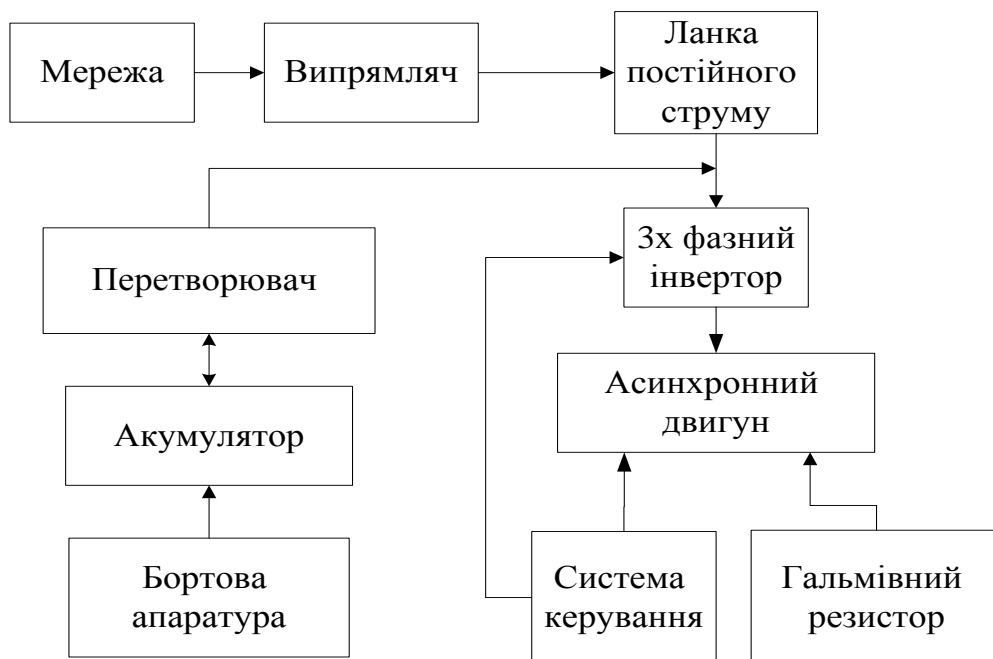
2. СТРУКТУРНА СХЕМА ТА РОЗРАХУНОК ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

2.1 Структурна схема

На рис. 2.1 зображено структурні схеми живлення тролейбуса з високовольтним акумулятором (а) та звичайна схема живлення тролейбуса (б).



а)



б)

Рис. 2.1 Структурна схема тролейбуса

Порівнюючи ці дві схеми живлення, можна зауважити, що головна відмінність полягає у різних перетворювачах та елементах накопичення енергії. У звичайній схемі живлення тролейбуса використовується простий перетворювач, який створює рівень напруги достатній для заряджання акумулятора, що живить бортову мережу. У іншій же схемі живлення використовується перетворювач з двостороннім передаванням енергії та тяговий акумулятор, який дозволяє приводити у рух електродвигун.

Особливістю такої системи є те, що тролейбус може рухатися якусь частину маршруту автономно. Енергія для живлення відбирається від джерела постійної напруги. Випрямляч у такому випадку потрібен для того, щоб не виникало аварійного режиму роботи коли полярність підключення може бути переплутана. Після випрямляча іде ланка постійного струму – це конденсатор. До ланки ж підключається 3-х фазний інвертор, який формує 3-х фазну напругу на двигун.

До недоліків такої схеми відноситься те що під час пуску енергії відбирається набагато більше ніж в усталеному режимі. Варто зазначити те що під час гальмування енергія не може передаватися назад в мережу, оскільки, випрямляч не дозволить цього зробити. В цьому разі можна замінити випрямляч на активний випрямляч, який в свою чергу буде складатися з транзисторів. Використовуючи, такий перетворювач матимемо змогу рекуперувати енергію до мережі.

2.2 Розрахунок перетворювача з двостороннім передаванням енергії

Для передавання енергії від акумулятора до ланки постійного струму в інвертора 1 замикаються транзистори VT1 та VT4, діоди які вбудовані в

транзистори VT5 та VT8 інвертора 2 будуть виконувати функцію випрямляча (рис.2.2) [18,19].

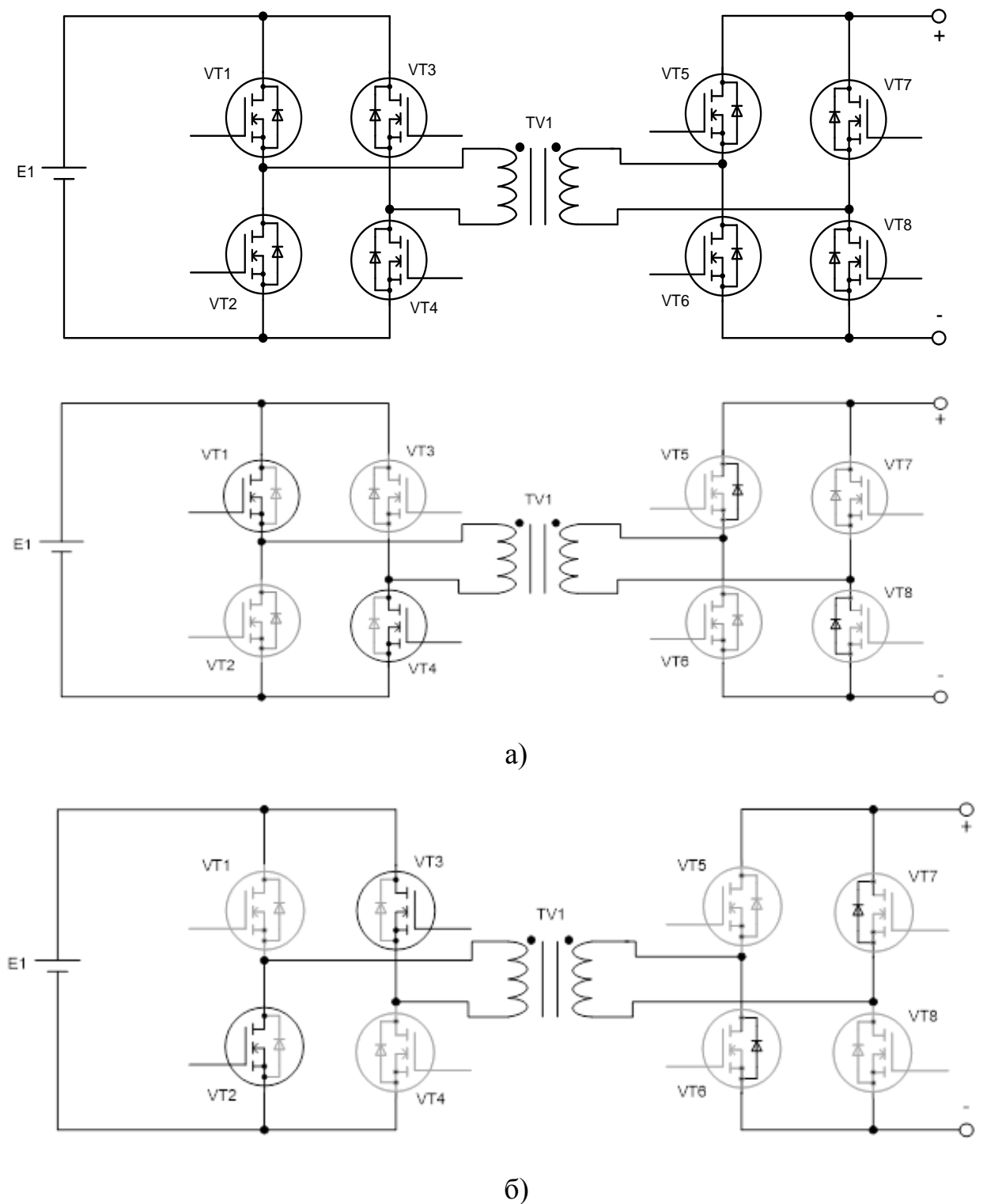


Рис. 2.2 Перетворювач: а – працюють транзистори VT1 та VT4; б – працюють транзистори VT2 та VT3

Для накопичення енергії в акумуляторі, яка буде надходити від ланки постійного струму в інвертора 2 замикаються транзистори VT5 та VT8, діоди

які вбудовані в транзистори VT1 та VT4 інвертора 1 будуть виконувати функцію випрямляча.

В іншому режимі для передавання енергії від акумулятора до ланки постійного струму в інвертора 1 замикаються транзистори VT3 та VT2, діоди які вбудовані в транзистори VT6 та VT7 інвертора 2 будуть виконувати функцію випрямляча.

Для накопичення енергії в акумуляторі, яка буде надходити від ланки постійного струму в інвертора 2 замикаються транзистори VT6 та VT7, діоди які вбудовані в транзистори VT3 та VT2 інвертора 1 будуть виконувати функцію випрямляча.

Вхідні данні: $U = 550-600 \text{ В}$; $P = 180 \text{ кВт}$.

$$I = \frac{P}{U_{in}} = \frac{180 \cdot 10^3}{600} = 300 \text{ А}. \quad (2.1)$$

Оберемо транзистор SEMiX402GAL066HDs відповідно до розрахунків. Параметри наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Напруга пробою стік-витік (U_{brdss}), В	600
Максимальний струм стік-витік при 25 °C (I_d), А	400
Час відновлення (t_{rr}), нс	300
Опір стік-витік при 4,5В (R_{dson}), Ом	0,116

Для розрахунку трансформатора, необхідно визначити вхідну індуктивність. Вона обирається з умові необхідного забезпечення вхідного струму 300А з періодом роботи перетворювача $T = 2 \cdot 10^{-5}$ та розраховується за наступною формулою:

$$L_1 = \frac{U_{in}}{I_{1m}} \gamma T = \frac{600}{300} \cdot 0.5 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}. \quad (2.2)$$

Коефіцієнт трансформації розраховується наступним чином:

$$n = \frac{U_{out}(1-\gamma)}{U_{in}\gamma} = \frac{600 \cdot (1-0.5)}{600 \cdot 0.5} = 1. \quad (2.3) \quad \text{Співвідно}$$

$$m = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{n\gamma}{(1-\gamma)} = \frac{1.12 \cdot 0.5}{1-0.5} = 1.12. \quad (2.4)$$

Індуктивність намагнічування трансформатора (L_n) розраховується за наступною формулою:

$$L_2 = \frac{L_1}{n \cdot m} = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{1} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}. \quad (2.5)$$

В якості сердечника обираємо Ерсос Е80 (рис.2.3).

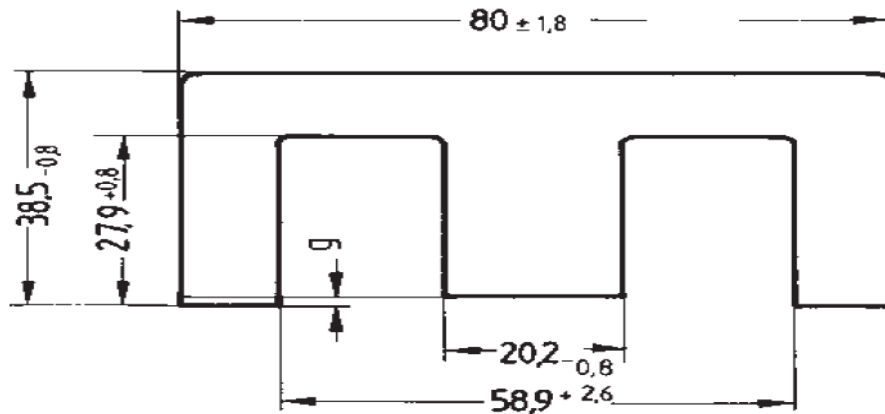


Рис.2.3 Габаритні розміри Ерсос Е80

Трансформатор буде складатися з двох таких сердечників (рис.2.4).

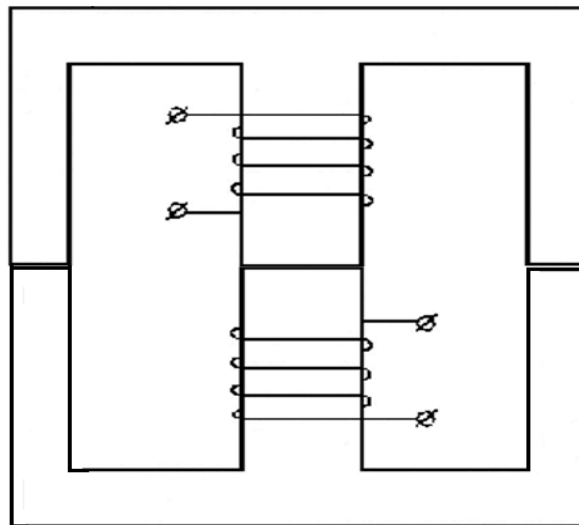


Рис.2.4 Структура трансформатора

Обмотки на сердечнику розрахуємо за такою формулою [20]:

$$N = \sqrt{L_2 / A_L} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-5}}{882 \cdot 10^{-9}}} = 5_{шт}, \quad (2.6)$$

де A_L – так званий коефіцієнт індуктивності.

Площа проводу:

$$S_{пров} = \frac{I}{j} = \frac{300}{10} = 30_{мм^2}, \quad (2.7)$$

де j - допустима щільність струму (j при початковому розрахунку приймають значення 10 А / мм^2).

Площа вікна розрахована [20]:

$$S_{вік} = \frac{N \cdot S_{пров}}{k_{зап}} = \frac{5 \cdot 30}{0.3} = 500_{мм^2}, \quad (2.8)$$

де $S_{пров}$ – площа перерізу дроту; $k_{зап}$ - коефіцієнт заповнення вікна. Типове значення $k_{зап}$ по міді становить 0,3.

Площа вікна складає двох сердечників Е80 складає:

$$S_{вік\ серд} = \frac{58.9 - 20.2}{2} \cdot 2 \cdot 27.9 = 1080_{мм^2}. \quad (2.9)$$

Розрахуємо діаметр проводу, який необхідний:

$$d_{пров} = 2\sqrt{\frac{S_{пров}}{\pi}} = 2\sqrt{\frac{30}{\pi}} = 6.2_{мм}. \quad (2.10)$$

Перевіряємо коефіцієнт заповнення вікна:

$$k = \frac{2 \cdot S_{пров}}{S_{вік\ серд}} = \frac{60}{1080} = 0.1. \quad (2.11)$$

Таким чином робимо висновок, що площі вікна вистачить для намотки такого провідника.

Однак ще слід враховувати скін ефект, оскільки трансформатор працює на високій частоті. Тому в такому випадку варто використовувати багатожильний провідник. Отже, обираємо мідний провід з діаметром $d=1\text{ мм}$ і площею поперечного перерізу $S_{перер}=0.75 \text{ мм}^2$.

Розрахуємо кількість проводів в жилі:

$$n = \frac{S_{пров}}{S_{перер}} = \frac{30}{0.75} = 40_{шт.} \quad (2.12)$$

Таким чином у жилі буде 40 провідників, площа перерізу однієї такої жили не буде перевищувати площу одного розрахованого провідника.

2.3 Розрахунок 3х фазного інвертора та акумуляторної батареї

На рис. 2.5 зображено трьох фазний інвертор, який буде далі розрахований.

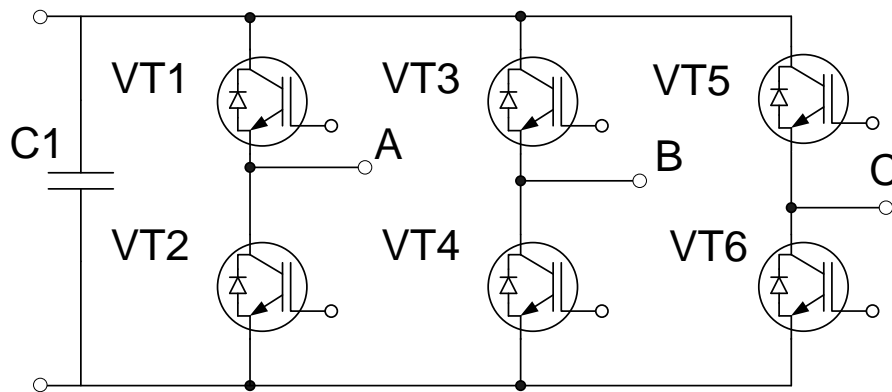


Рис. 2.5 3х фазний інвертор

Вхідні данні: $U = 550-600$ В; $P = 180$ кВт.

$$I = \frac{P}{U_{in}} = \frac{180 \cdot 10^3}{600} = 300 A. \quad (2.13)$$

Ємність вхідного конденсатора визначаються величиною пульсацій струму через нього, яка розраховується за наступною формулою :

$$I_{C_1} = I_{out} \sqrt{\frac{V_{out}(V_{in} - V_{out})}{V_{in}}} = 144,6 A. \quad (2.14)$$

Для вибору вхідного конденсатора необхідно враховувати імпеданс джерела. Тому в такому випадку достатньо встановити вхідний конденсатор ємністю 10-22 мкФ в розрахунку на 1 А. Отже, розрахована вхідна ємність складає $C_1 = 2175$ мкФ. Обираємо конденсатор ALC70A221DC550, параметри якого наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Ємність, мкФ	2200
Робоча напруга, В	550
Робоча температура, °С	-40...+85
Внутрішній опір, Ом	1,95
Сторок служби, год	18000

Згідно з попередніми розрахунками транзистор бути розрахований на напругу в 600 В і струм в 300 А. Тому відповідно до цих параметрів оберемо силовий модуль SKM450GB12E4. Головні технічні характеристики наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Напруга колектор емітер (UCES), В	1200
Напруга база-емітер (UGE), В	-20..20
Час наростання (ton), нс	246
Час спаду (tof), нс	529
Повний заряд затвору, мкКл	62
Номінальний струм колектора (Ic), А	450
Наявність діода	Так
Номінальний струм діоду (IF), А	440

Розрахунок акумуляторної батареї

Літій-іонні акумулятори в даний час використовуються в більшості портативних побутових електронних пристроїв, таких як мобільні телефони та ноутбуки, а також використовуються в електромобілях через їх високу енергію на одиницю маси щодо інших систем накопичення електричної енергії. Вони також мають високе співвідношення потужності до ваги, високу енергоефективність, хороші характеристики при високій температурі

та низький рівень саморозряду. Більшість компонентів літій-іонних акумуляторів можна переробити, але вартість відновлення матеріалів залишається проблемою для галузі.

Для розрахунку використовуються наступні вхідні параметри: $U=600\text{В}$, середня потужність, яка необхідна для руху складає $P_{\text{сер}}=426\text{кВт}$, але враховуючи обмеження прискорення достатньо буде $P=200\text{кВт}$.

Максимальне споживання струму буде розраховуватись за наступним чином:

$$I_{\text{сер}} = \frac{P}{U} = 333 \text{ А}. \quad (2.15)$$

Обираємо акумулятор Efest 21700 3700 мАгод.

Характеристики:

- тип елементу: Li-ion;
- типорозмір: 21700;
- номінальна ємність: 3700mah;
- номінальна напруга: 3,7 В;
- напруга повного заряду: 4,2 В;
- напруга повного розряду: 2,5 В;
- максимальна постійна струмовіддача: 35А;
- номінальний опір: 20mOhm;
- рекомендований струм заряду: 2А;
- максимальний струм заряду: 4А;
- температурний режим використання: -20~75⁰С;
- розміри: 21x70мм;
- вага: 73,12гр.

Розрахуємо кількість послідовно з'єднаних акумуляторів, які необхідні для утворення необхідної напруги:

$$n_U = \frac{U}{U_{\text{ном.акум}}} = 162 \text{ шт.} \quad (2.16)$$

де $U_{\text{ном.акум}}$ - номінальна напруга акумулятора, В.

Для напруги в 600 В необхідно з'єднати 162 акумулятори послідовно.

Враховуючи максимальне значення струму акумулятора, $I_{\text{макс.акум}} = 35 \text{ А}$ розрахуємо мінімальну кількість акумуляторів для забезпечення середнього струму, розрахованого за формулою ().

$$n_I = \frac{I}{I_{\text{акум}}} \approx 10 \text{ шт.} \quad (2.17)$$

Для струму в 333 А необхідно з'єднати 10 блоків із 162 акумуляторів, паралельно.

Отже ємність, кількість елементів і маса такого акумулятора визначаються наступними формулами:

$$C_{\text{акум}} = 10 \cdot 3700 = 37 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

$$N_{\text{акум}} = 10 \cdot 162 = 1620 \text{ шт.}$$

$$m_{\text{НОМ}} = 1620 \cdot 0,07312 = 118,45 \text{ кг.}$$

Відповідно до розрахованого значення $N_{\text{акум}}$, габарити такої батареї будуть мати такі значення:

$$0,21 \text{ м} \times 1,05 \text{ м} \times 6,9 \text{ м} (B \times Ш \times Д).$$

Альтернативо використанню літій-іонних акумуляторів є суперконденсатори, не зважаючи на ряд переваг таких як менший час заряджання та кількість циклів розряд/заряд вони мають також і суттєві недоліки, а саме це висока ціна та значно менша питома енергоємність, що в нашому випадку грає важливу роль у зв'язку з дальністю руху тролейбусу. Суперконденсатори доцільно використовувати при руху на малі відстані.

2.4 Керування асинхронним двигуном

2.4.1 Закон Костенко

Головною задачею частотного керування є дослідження роботи асинхронного двигуна при різних зв'язках між каналами керування напругою та частотою живлення статора, які називаються закони керування, а також

визначення законів, які забезпечують оптимальні умови роботи двигуна в статичних та перехідних режимах.

В 1925 році було сформульовано закон академіком Костенко М.П., який забезпечує оптимальні умови роботи двигуна. Для забезпечення оптимальної роботи асинхронного двигуна при всіх значеннях частоти та навантаження, потрібно відносно напругу двигуна змінювати пропорційно похідній відносно частоти на корінь квадратний відносного моменту:

$$\gamma = a\sqrt{\mu}, \quad (2.18)$$

де $\mu = M / M_{ном}$ - відносний електромагнітний момент. Якщо магнітний ланцюг машини слабо насичений та активним опром статора можна знехтувати, то в такому випадку асинхронний двигун буде працювати майже при постійному коефіцієнті потужності, запасі статичної стійкості та абсолютному ковзанні.

З таких елементарних міркувань можна отримати закон Костенко. В разі якщо коефіцієнт перевантажувальної здатності при регулюванні буде постійним, то критичний момент, який залежить від квадрату величини магнітного потоку, в свою чергу повинен залишатися постійним та відношення моментів при двох різних частотах буде дорівнювати:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\Phi_1^2}{\Phi_2^2} \Rightarrow \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}. \quad (2.19)$$

Але якщо знехтувати активним опором статора, то напруга статора буде урівноважувати ЕРС основного магнітного потоку та буде лінійно зв'язана з частотою та величиною магнітного потоку, а відношення напруг буде дорівнювати [21]:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\Phi_1 \cdot f_1}{\Phi_2 \cdot f_2}. \quad (2.20)$$

Підставляючи (2.19) в (2.20), отримаємо закон Костенко:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{f_1}{f_2} \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} \Leftrightarrow \gamma = a\sqrt{\mu}. \quad (2.21)$$

З закону Костенко можна прибрати відносний момент для деяких найпростіших випадків. Припустимо з точністю ковзання $\omega_1 = \omega$, представимо рівняння механічної характеристики навантаження степеневі функції $M = C\omega^k$ чи у відносних одиницях, як $\mu = a^k$. Тоді вираз 2.18 прийме вигляд:

$$\gamma = a^{1+k/2}. \quad (2.22)$$

Звідси для типових видів навантаження отримаємо наступні співвідношення (табл.2.4).

Таблиця 2.4

	Вид керування		
	Статична $M=\text{const}; k=0$	Вентиляторна $M=C\omega^2; k=2$	Постійна потужність $M\omega=\text{const}; k=-1$
Закон керування	$\gamma=\alpha$	$\gamma=\alpha^2$	$\gamma=\sqrt{\alpha}$

Ці закони керування є фактичним стандартом, які закладені у всі сучасні перетворювачі частоти широкого застосування.

Цей закон можна використовувати насамперед для розімкнутих та замкнутих систем керування. Його задачею є керування напругою (магнітним потоком) двигуна в функції навантаження на валу без безпосереднього його виміру. Якщо навантаження зменшується, то магнітний потік також можна зменшити, зменшивши напругу, але зберігши при цьому запас статичної стійкості.

Вище було зазначено, що загальний вираз закону Костенко було отримано при умові $r_1 \approx 0$, що відповідає внутрішньому відносному опору

$$\frac{U_1'}{U_{1ном}} = \frac{|U_1 - r_1 I_1|}{U_{1ном}} = \gamma'.$$

Можна показати, що таке керування, тобто оптимальне керування з урахуванням активного опору статора реалізується при підтриманні на

постійному близькому до номінального ковзанню рівні абсолютного ковзання $\beta_0 \approx s_{ном} = const$.

Таке керування можна виконати за допомогою зворотного зв'язку по швидкості у відповідності до виразу:

$$\omega = \omega_{ном}(\alpha - \beta_0). \quad (2.23)$$

2.4.2 Векторна широтно-імпульсна модуляція

Цифрові методи управління двигунами змінного струму, такі як векторна широтно-імпульсна модуляція (ШІМ), були розроблені із широким спектром промислових застосувань. Векторна ШІМ була впроваджена у 1980-х роках, широко використовувалася для регулювання частоти та регулювання швидкості двигунів змінного струму. Вона керує двигуном на основі перемикання векторів напруги, за допомогою яких отримують кругове поворотне магнітне поле. Іншими словами, інвертор управляється для виведення “відповідної” форми сигналу напруги. Синусоїдальна ШІМ, використовується для управління вихідною напругою інвертора, а також підтримує та забезпечує хорошу продуктивність приводу в усьому діапазоні роботи. Методи векторної модуляції зазнали широкого використання в останнє десятиліття, оскільки вони дозволяють зменшити комутаційні втрати та / або гармонічний вміст вихідної напруги, а також отримати більш високі показники амплітудної модуляції. Більше того, векторні методи модуляції можна легко впровадити в цифровий процесор.

Векторний метод працює в складній площині, розділеній на шість секторів, розділених векторами стану комутації. Базові вектори стану комутації визначаються комбінацією провідних / непровідних перемикачів в ланцюзі живлення інвертора (рис.2.6).

Опорний вектор V_{ref} використовується для визначення двох суміжних векторів стану комутації (V_1 і V_2 у першому секторі) та для обчислення часу (T_1 і T_2 відповідно), протягом якого кожен з них активний [22].

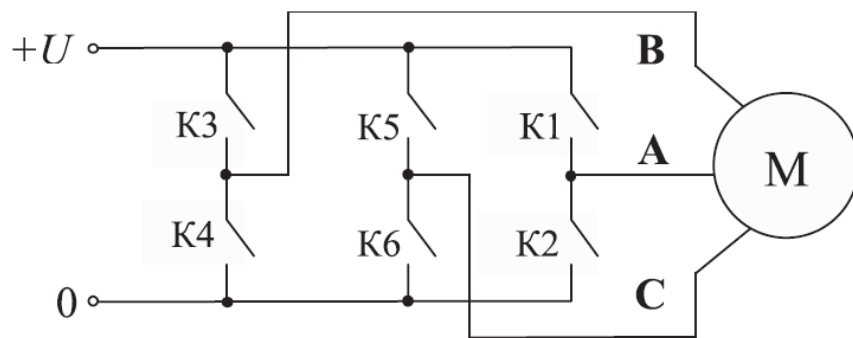


Рис. 2.6 3-х фазний інвертор

Так як ключі мають різні стани, тому на рис. 2.7 пояснюються комбінації їх використання та відповідність базовим векторам.

Двигун є трьох фазною симетричною системою тому амплітуда всіх нульових базових векторів складає $2U_d/3$.

Обидва нульових вектори, не беручи до уваги різні стани перемикачів, забезпечують одночасне прикладення нульової напруги до обмоток статора.

В нерухомій системі координат ненульові вектори матимуть такий вигляд, як зображено на рис 2.8.

Використовуючи розраховані тривалості базових векторів можна сформулювати вектор напруги статора. В таблиці 2.5 показано сектори та відповідні ним базові вектори.

Таблиця 2.5

Сектор, град	Вектори, які використовуються
0...60	V1, V2, V7, V8
60...120	V2, V3, V7, V8
120...180	V3, V4, V7, V8
180...240	V4, V5, V7, V8
240...300	V5, V6, V7, V8
300...360	V6, V1, V7, V8

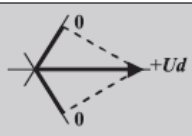
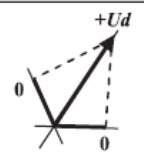
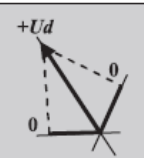
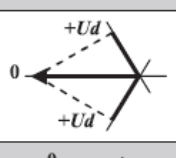
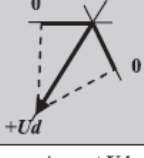
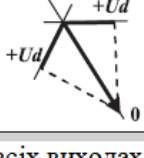
Позначення та положення базового вектору		Стани перемикачів					
		фаза А		фаза В		фаза С	
		К1	К2	К3	К4	К5	К6
V_1 (А)		Увімк.	Вимк.	Вимк.	Увімк.	Вимк.	Увімк.
		1	0	0	1	0	1
V_2 (-С)		Увімк.	Вимк.	Увімк.	Вимк.	Вимк.	Увімк.
		1	0	1	0	0	1
V_3 (В)		Вимк.	Увімк.	Увімк.	Вимк.	Вимк.	Увімк.
		0	1	1	0	0	1
V_4 (-А)		Вимк.	Увімк.	Увімк.	Вимк.	Увімк.	Вимк.
		0	1	1	0	1	0
V_5 (С)		Вимк.	Увімк.	Вимк.	Увімк.	Увімк.	Вимк.
		0	1	0	1	1	0
V_6 (-В)		Увімк.	Вимк.	Вимк.	Увімк.	Увімк.	Вимк.
		1	0	0	1	1	0
V_7 (0+)	На всіх виходах інвертора +Ud	Увімк.	Вимк.	Увімк.	Вимк.	Увімк.	Вимк.
		1	0	1	0	1	0
V_8 (0-)	На всіх виходах інвертора 0	Вимк.	Увімк.	Вимк.	Увімк.	Вимк.	Увімк.
		0	1	0	1	0	1

Рис. 2.7 Стани перемикачів

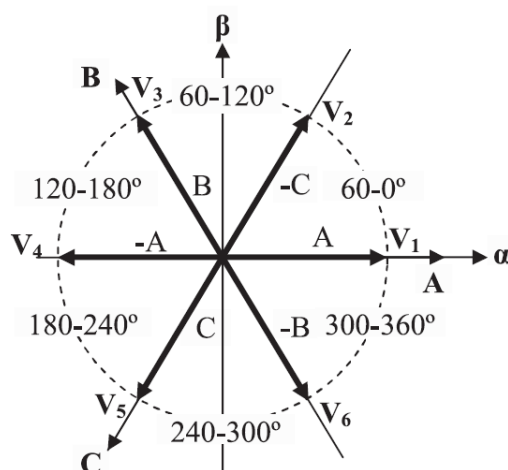


Рис. 2.8 Ненульові вектори

На базові вектори можна розкласти вектор U_s в будь-якому з шести секторів (рис.2.9).

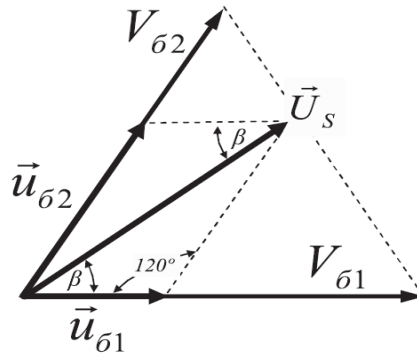


Рис. 2.8 Розклад на базові вектори

За теорією синусів з легкістю можна знайти складові базових векторів.

$$\begin{aligned} \left| \vec{u}_{61} \right| &= \frac{2}{\sqrt{3}} \left| \vec{U}_s \right| \sin(60^\circ - \beta) \\ \left| \vec{u}_{62} \right| &= \frac{2}{\sqrt{3}} \left| \vec{U}_s \right| \sin \beta \end{aligned} \quad (2.24)$$

Можемо перейти від модулів базових складових до тривалості періоду ШІМ, враховуючи те що амплітуда базових векторів дорівнює $2U_d/3$, на основі співвідношень 2.24 запишемо нові:

$$\begin{aligned} t_{61} &= \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{3t_{ШІМ}}{2U_d} \left| \vec{U}_s \right| \sin(60^\circ - \beta) = \frac{\sqrt{3} \left| \vec{U}_s \right|}{U_d} t_{ШІМ} \sin(60^\circ - \beta) \\ t_{62} &= \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{3t_{ШІМ}}{2U_d} \left| \vec{U}_s \right| \sin \beta = \frac{\sqrt{3} \left| \vec{U}_s \right|}{U_d} t_{ШІМ} \sin \beta \\ t_0 &= t_{ШІМ} - t_{61} - t_{62} \end{aligned} \quad (2.25)$$

де $t_{ШІМ}$ – період ШІМ в секундах; t_{61} , t_{62} , t_0 – часові інтервали (в секундах) під час яких відбувається ввімкнення базових векторів.

Перепишемо співвідношення 2.25 у відносних одиницях, беручи до уваги, що максимальне значення вектора U_s складає $U_d/\sqrt{3}$.

$$\begin{aligned}
T_{\delta 1} &= U_S \sin(60^\circ - \beta) \\
T_{\delta 2} &= U_S \sin \beta \\
T_0 &= 1 - T_{\delta 1} - T_{\delta 2} \quad ,
\end{aligned}
\tag{2.26}$$

де $U_S = \frac{\sqrt{3}|\vec{U}_S|}{U_d}$ - амплітуда заданого вектора у відносних одиницях; $T_{\delta 1}$, $T_{\delta 2}$ та T_0 - частини періода ШІМ, під час якого відбувається увімкнення базових векторів.

Взагалі є безліч варіацій увімкнення базових векторів, одна з яких показана на рис. 2.9.

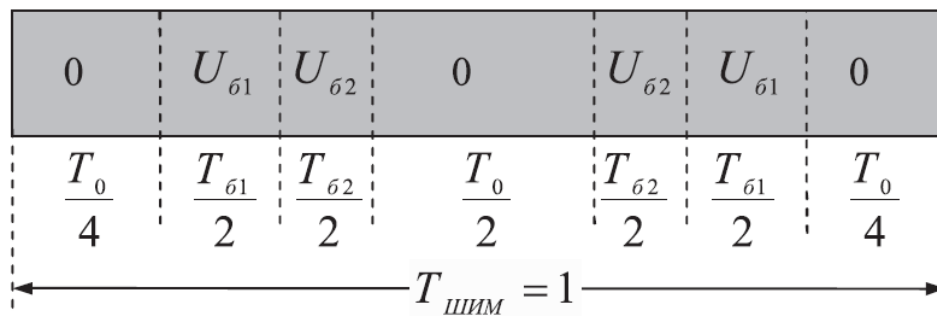


Рис. 2.9 Увімкнення базових векторів у періоді ШІМ

Такий вид ШІМ широко використовується більшістю сучасних перетворювачів частоти.

На рис.2.10 зображено алгоритм увімкнення базових векторів в залежності від сектору та їх тривалість.

Базові вектори $T_{\delta 1}$ та $T_{\delta 2}$ відрізняються порядком комутації в парних та непарних секторах для того, щоб мінімізувати динамічні втрати в ключах інвертора. За рахунок такого перемикання векторів у відповідних секторах та переходів від сектору до сектору, забезпечується перемикання ключів тільки у одному плечі інвертора.

Сектор, град				Період ШІМ						
1	0...60	Час		T _{0/4}	T _{61/2}	T _{62/2}	T _{0/2}	T _{62/2}	T _{61/2}	T _{0/4}
		Вектор		V ₈	V ₁	V ₂	V ₇	V ₂	V ₁	V ₈
		Фази	A							
			B							
			C							
2	60...120	Час		T _{0/4}	T _{62/2}	T _{61/2}	T _{0/2}	T _{61/2}	T _{62/2}	T _{0/4}
		Вектор		V ₈	V ₃	V ₂	V ₇	V ₂	V ₃	V ₈
		Фази	A							
			B							
			C							
3	120...180	Час		T _{0/4}	T _{61/2}	T _{62/2}	T _{0/2}	T _{62/2}	T _{61/2}	T _{0/4}
		Вектор		V ₈	V ₃	V ₄	V ₇	V ₄	V ₃	V ₈
		Фази	A							
			B							
			C							
4	180...240	Час		T _{0/4}	T _{62/2}	T _{61/2}	T _{0/2}	T _{61/2}	T _{62/2}	T _{0/4}
		Вектор		V ₈	V ₅	V ₄	V ₇	V ₄	V ₅	V ₈
		Фази	A							
			B							
			C							
5	240...300	Час		T _{0/4}	T _{61/2}	T _{62/2}	T _{0/2}	T _{62/2}	T _{61/2}	T _{0/4}
		Вектор		V ₈	V ₅	V ₆	V ₇	V ₆	V ₅	V ₈
		Фази	A							
			B							
			C							
6	300...360	Час		T _{0/4}	T _{62/2}	T _{61/2}	T _{0/2}	T _{61/2}	T _{62/2}	T _{0/4}
		Вектор		V ₈	V ₁	V ₆	V ₇	V ₆	V ₁	V ₈
		Фази	A							
			B							
			C							

Рис. 2.10 Увімкнення базових векторів відповідно до сектору

2.1 Режими руху тролейбуса

Існують наступні режими руху тролейбуса, які зображені на рис.2.11. В залежності від кількості необхідної енергії інтервал руху поділяється на три проміжки: прискорення ($0-t_1$), рух з постійною швидкістю (t_1-t_2), гальмування та рекуперування енергії (t_2-t_3).

На першому інтервалі енергія для руху тролейбуса буде відбиратися від мережі, а також паралельно від акумулятора. На другому електропривід

живитиметься тільки від мережі, на третьому інтервалі енергія буде рекуперуватися до акумуляторної батареї.

Енергія, яка відбирається, буде накопичуватися у системі акумуляювання для подальшого використання під час розгону тролейбуса за для зменшення навантаження на мережу. Споживання струму від мережі та системи акумуляювання зображено на рис. 2.11 (в, г).

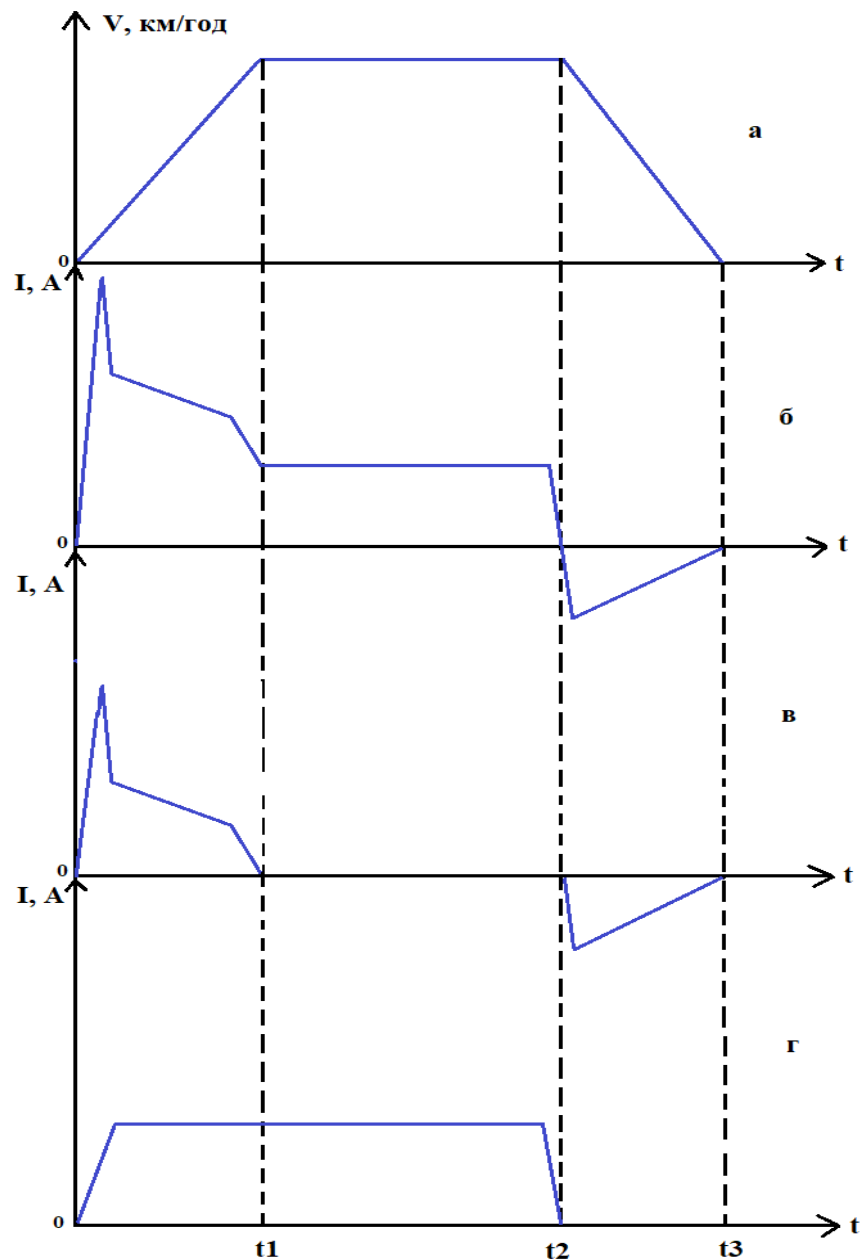


Рис. 2.11 Режими руху тролейбуса: а) залежність швидкості від часу; б) споживання струму електродвигуном на різних проміжках; в) споживання струму від акумулятора; г) споживання струму від мережі.

Висновки до другого розділу

Отже, за рахунок такої системи живлення тролейбуса підвищується його мобільність, а також вдалося зменшити пікові значення споживання струму від мережі, внаслідок використання акумулятора.

Можемо відзначити, що рекуперація енергії має значний потенціал для економії енергії, тому під час гальмування енергія буде накопичуватися в акумуляторній батареї, а не розсіюватиметься на гальмівному резисторі, як у звичайних системах живлення тролейбусів.

Векторне керування асинхронним двигуном досить широко використовується, оскільки має ряд суттєвих переваг. Тому можемо виділити такі основні переваги [23]:

- висока точність регулювання швидкості;
- плавний старт і плавне обертання двигуна у всьому діапазоні частот;
- швидка реакція на зміну навантаження: при зміні навантаження практично не відбувається зміни швидкості;
- збільшений діапазон управління і точність регулювання;
- знижуються втрати на нагрів і намагнічування, підвищується ККД електродвигуна.

Тому можемо зробити підсумок, що така система з двостороннім передаванням енергії є досить затребуваною в наш час особливо для сучасних мегаполісів, що дозволить розвантажити транспортну систему за рахунок підвищеної мобільності транспортного засобу, а також це дозволить розробити нові більш зручні маршрути для громадського транспорту, але насамперед для користувачів.

3. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

3.1 Принцип роботи системи керування

Оскільки, для пуску електродвигуна необхідна потужність значно більша ніж при усталеному режимі, а це означає більші пускові струми і як наслідок підвищене навантаження на мережу. Тому для пуску двигуна застосовується силовий акумулятор.

Принцип роботи системи керування можемо сформулювати наступний (рис. 3.1). В перший момент часу при розгоні тролейбусу разом з мережею використовується акумуляторна батарея і за рахунок цього зменшується навантаження на мережу, пікові значення струму компенсуються за рахунок батареї.

При русі тролейбусу з постійним прискоренням акумуляторна батарея відключається і живлення відбувається тільки від мережі.

Під час же гальмування за рахунок перетворювача з двосторонньою передачею енергії відбувається рекуперація енергії до батареї, що в подальшому використовується для пуску електродвигуна.

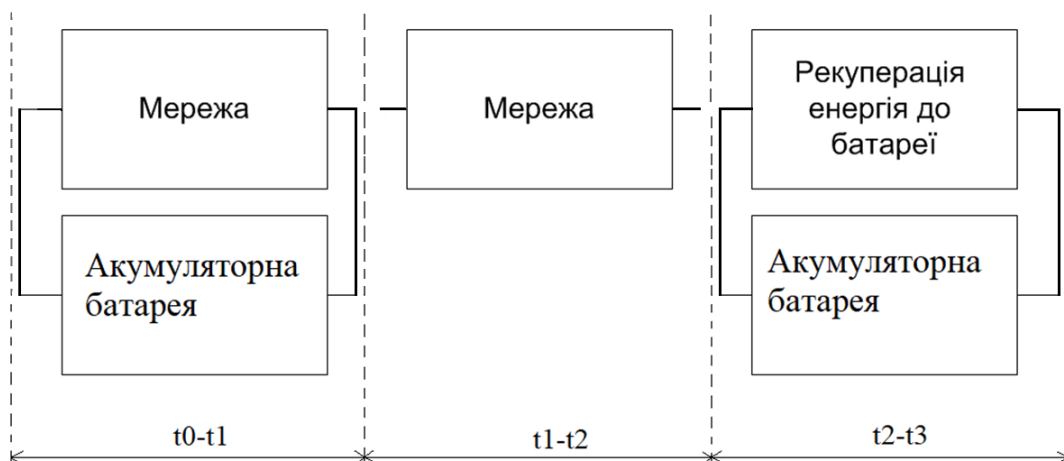


Рис. 3.1 Живлення для різних проміжків руху тролейбуса

Профіль маршруту, по якому рухається тролейбус, що працює від акумулятора, суттєво впливає на його споживання енергії. На основі

доступних розрахунків та моделювання [24], переважно їзда в гору суттєво впливає на споживання енергії. Наявні ресурси надають дані, які можуть послужити орієнтиром. При нахилі, що зростає на 5%, очікується в 3 рази збільшення споживання електроенергії [25]. Можна покрити підйоми конструкцією накладних проводів, що вирішить проблему підвищеного споживання енергії від акумулятора. Позитивною новиною є те, що більшість тролейбусів з акумуляторною батареєю оснащені можливістю рекуперації. Це означає, що під час гальмування можна заощадити деяку енергію та використовувати її для підзарядки тягового акумулятору. Також опір повітря зростає зі швидкістю. Тролейбус має велику площу передньої поверхні, однак на міських швидкостях цей коефіцієнт є мінімальним і входить у середнє споживання енергії.

Цикли заряду та розряду будуть проходити наступним чином. Розряд акумулятора буда проходити під час пуску двигуна та у випадку автономного руху. Заряд акумулятора буде відбуватися від мережі під час руху тролейбусу з постійною швидкістю. Під час гальмування, енергію, яка рекуперується можна зберегти або ж відати до мережі, у разі якщо батарея буде повністю заряджена. За для підвищення ресурсу акумуляторної батареї її заряд буде підтримуватися в межах 80-90% від максимального, щоб у разі виникнення непередбачуваної ситуації рухатися автономно деякий проміжок часу. Нижній же поріг розряду батареї буде становити 20% від максимальної ємності, що дозволить підвищити ресурс акумулятора [26].

На рис.3.2 зображено блок-схему живлення електропривода. Система працює наступним чином. Давач струму, який стоїть перед вхідним перетворювачем (П1), який управляється системою керування СК1, зчитує значення струму, яке споживається від мережі і в разі перевищення деякого порогового значення змість мережі за допомогою системи керування (СК2) підключається перетворювач зарядного пристрою (П2) і живлення відбувається від акумулятора. Режим рекуперування включається, якщо значення давача напруги перевищує напругу мережі, то в такому випадку

перетворювач зарядного пристрою буде працювати в зворотному напрямку, накопичуючи енергію до акумулятора.

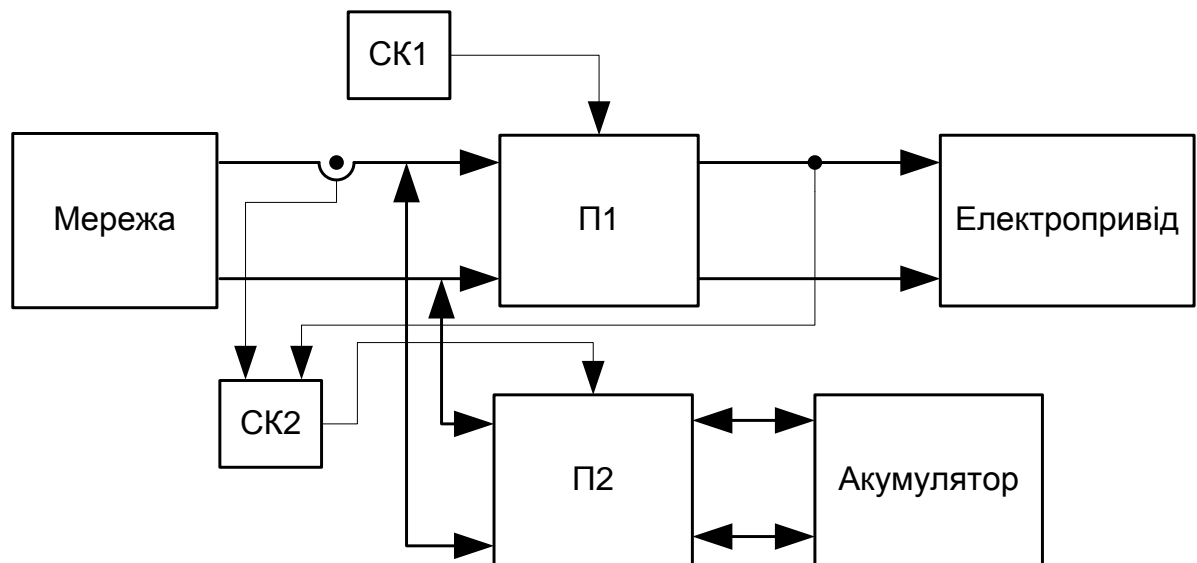


Рис.3.2 Блок-схема живлення електропривода

Релейне керування – це система, що здійснює зміну вихідного сигналу під впливом керуючого сигналу, що змінюється у певних межах. Тобто система призначена для подавання сигналів керування, коли контрольовані параметри виходять за задані межі [27]. В основному такі системи мають два граничні значення: максимальне та мінімальне, в яких саме і працює така система керування (рис.3.3).

В нашому випадку важливим є лише максимальне граничне значення, оскільки при перевищенні максимально допустимого струму мережі, живлення електроприводу буде забезпечуватися від акумулятора. А у разі перевищення значення по напрузі перетворювач зарядного пристрою, працюватиме у зворотному напрямку, за для накопичення енергії до батареї.

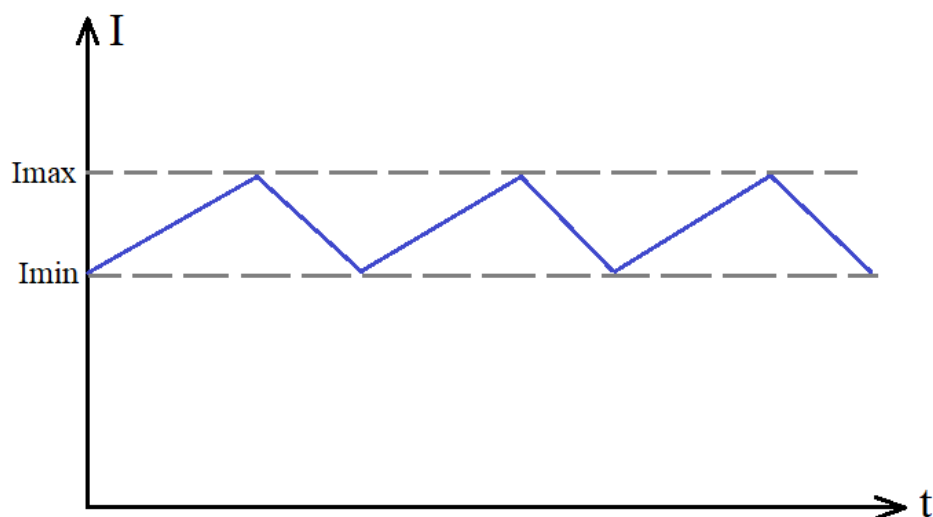


Рис. 3.3 Порогові значення

На рис. 3.4 зображено модель релейного керування. Вона працює наступним чином, при перевищенні вхідного струму порогового значення буде вмикатися перше реле, яке в свою чергу через систему розподілення імпульсів буде керувати транзисторами. Кожний канал системи розподілення буде керувати парою діагонально ввімкнених транзисторів.

Тобто в один момент часу буде працювати одна пара діагонально ввімкнених транзисторів, а в інший момент – інша. Це робиться для того, щоб трансформатор не підмагнічувався. При споживанні струму нижче порогового значення реле буде вимикатися.

Друге реле буде спрацьовувати при перевищенні напруги вище порогового рівня. Воно також працює через систему розподілення імпульсів та керує парою діагонально ввімкнених транзисторів.

На рис. 3.5 зображено струм на вході та напругу на виході схеми. На цих діаграмах можна спостерігати ввімкнення першого реле на діаграмі струму та ввімкнення другого на діаграмі напруги. Порогові рівні спрацювання в даній моделі по струму 40А (± 1) та по напрузі 120В (± 1) .

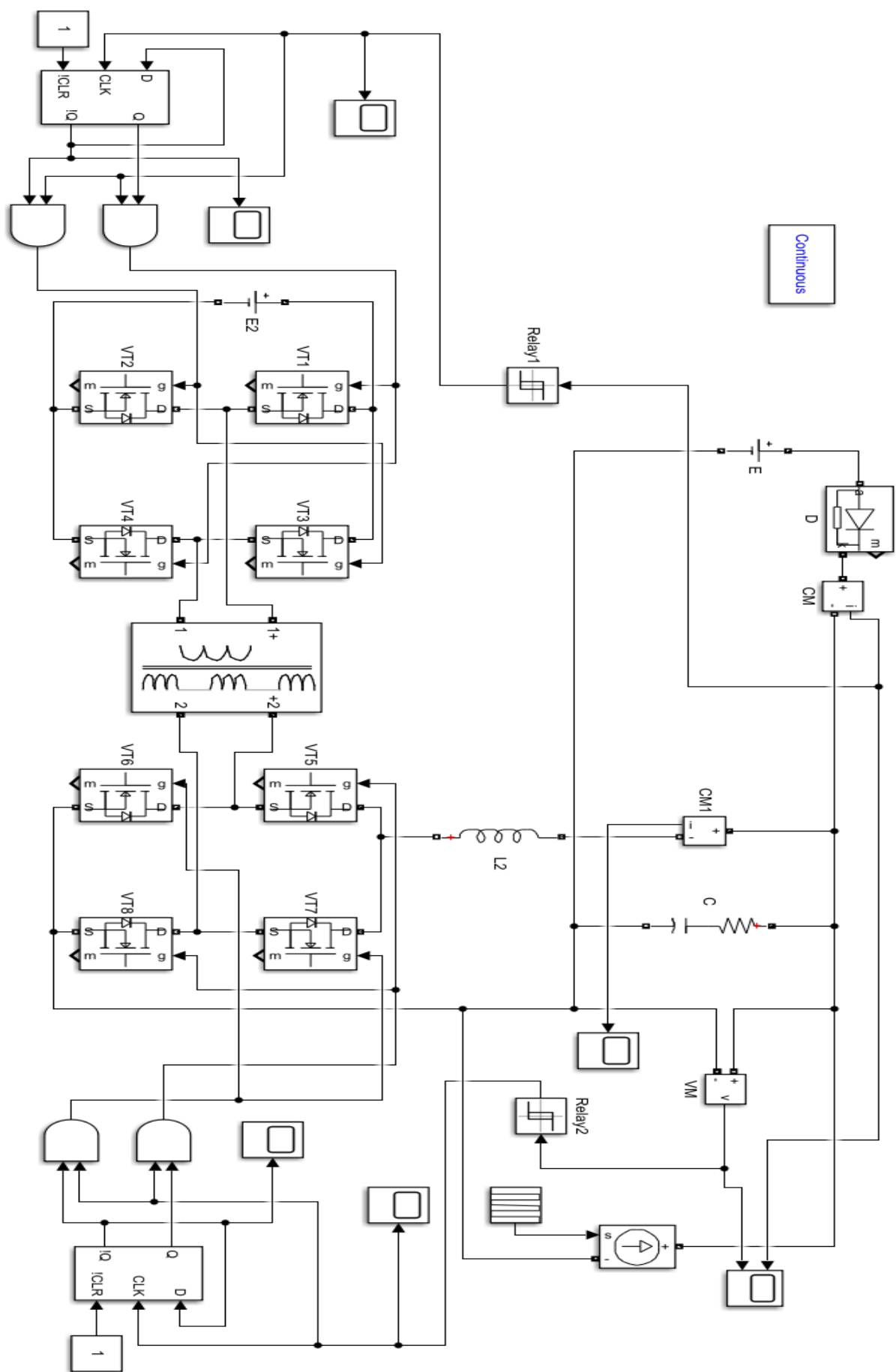


Рис. 3.4 Модель релейного керування

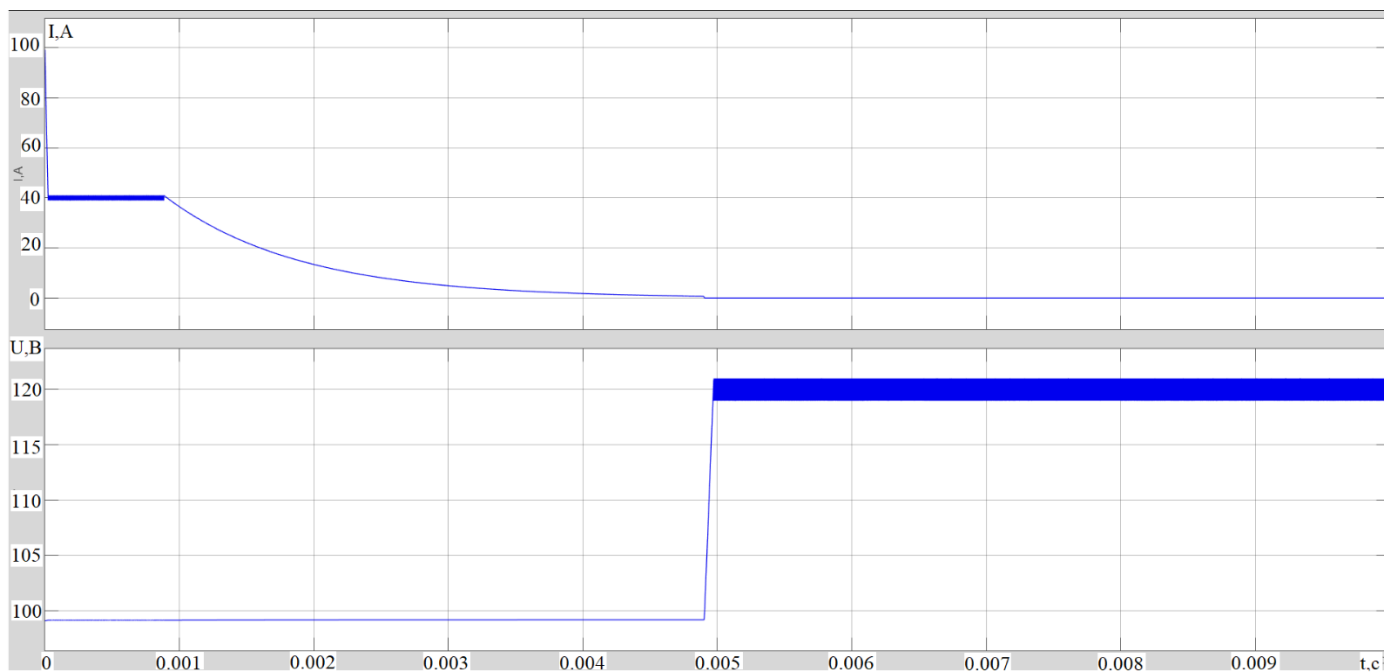


Рис. 3.5 Струм та напруга при релейному керуванні

3.2 Моделювання системи живлення без ємнісного накопичувача

На рис. 3.6 зображено систему живлення електроприводу без ємнісного накопичувача.

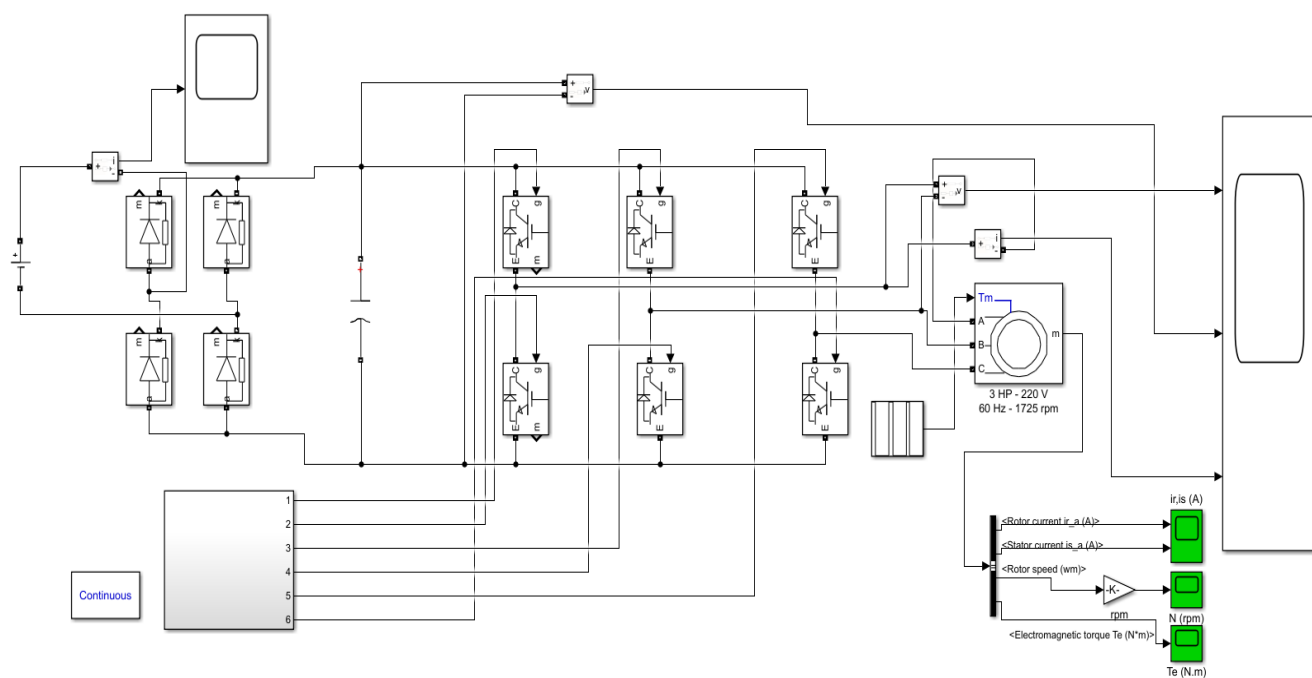
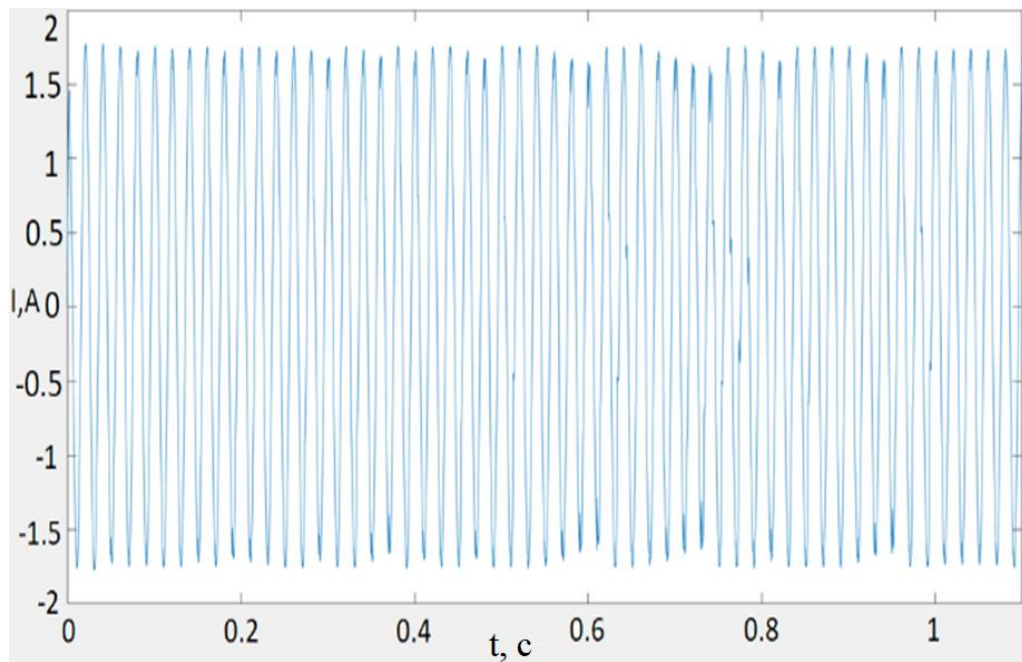


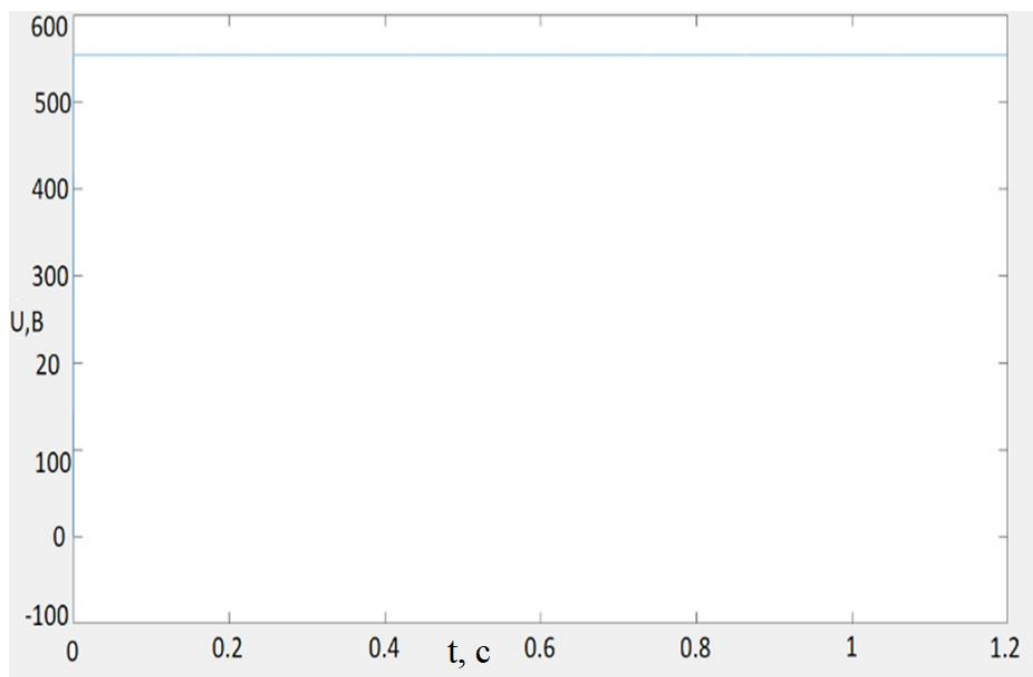
Рис. 3.6 Модель електропривода без ємнісного накопичувача

Вона складається з джерела напруги після якого стоїть випрямляч, ланка постійного струму (конденсатор), 3-х фазний інвертор від якого і живиться двигун.

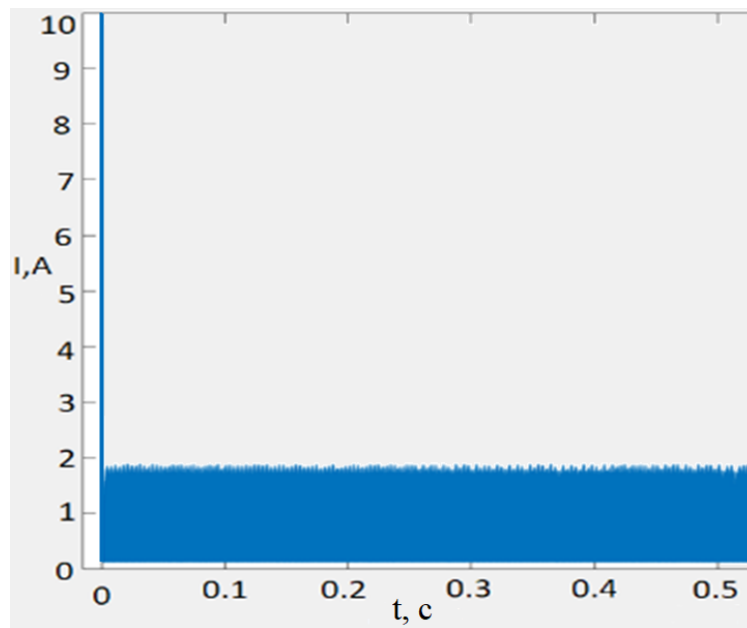
Промодельювавши дану систему живлення, без гальмівного резистора та акумулятора отримали наступні діаграми (рис.3.7).



а)



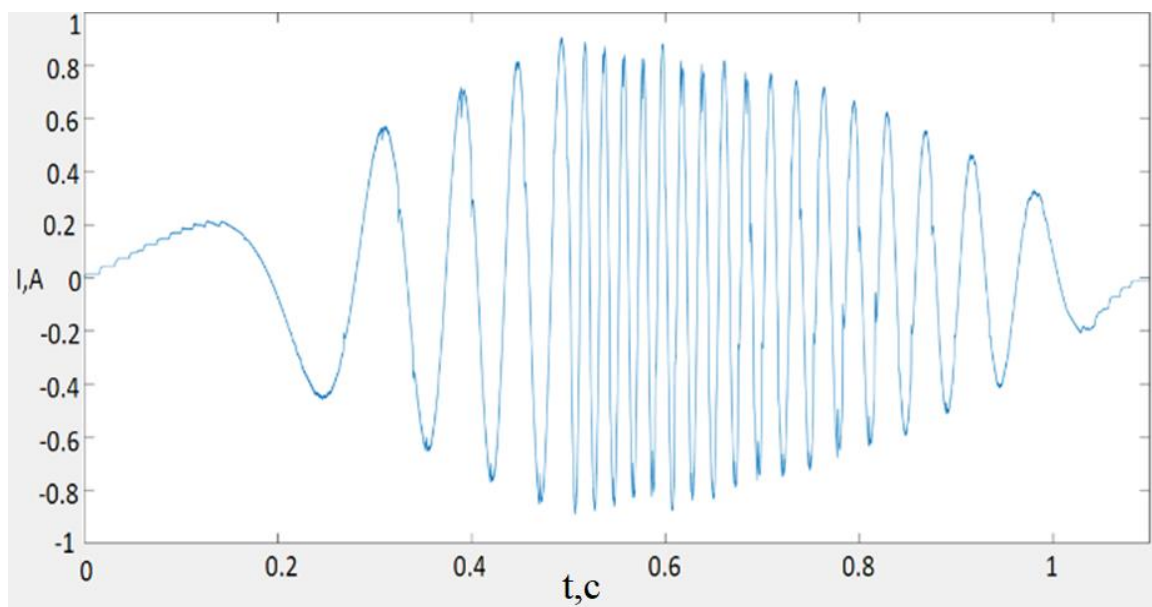
б)



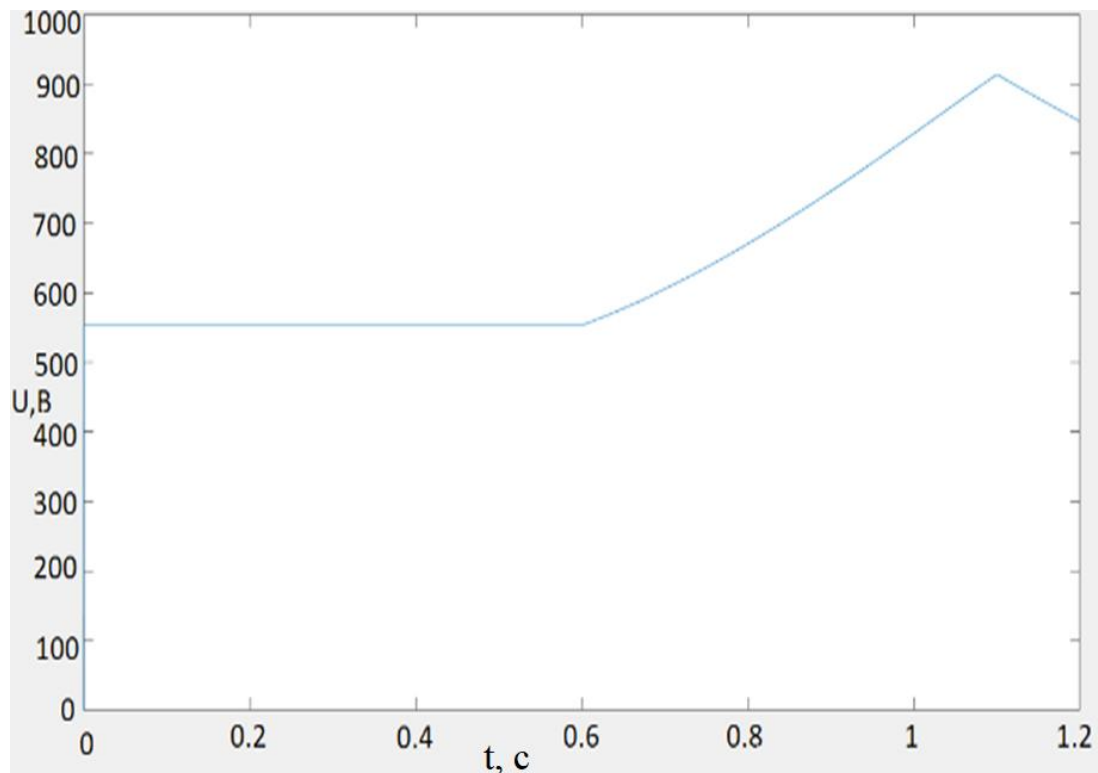
в)

Рис.3.7 Струм фази (а), напруга ланки постійного струму (б), струм мережі(в)

Під час перехідних процесів є перевищення по струму, це внаслідок того, що частота роботи інвертора відразу відповідає номінальним оборотам двигуна. При плавній зміні обертів таких великих перехідних процесів не буде (рис.3.8).



а)



б)

Рис.3.8 Струм фази (а), напруга ланки постійного струму (б)

Запропонований закон частотного керування академіка М.П. Костенко дає змогу плавно збільшувати частоту напруги, що зменшує пусковий струм двигуна.

Для того, щоб усунути сплеск напруги при гальмуванні у модель необхідно додати гальмівний транзистор, який обмежує перенапругу.

Діаграми, отримані, з використання моделі електропривода без ємнісного накопичувача з гальмівним резистором зображені на рис.3.9.

За рахунок того, що в моделі з'явилися гальмівний резистор з транзистором, таким чином була усунута проблема збільшення струму, але в такому випадку вся корисна енергія, яка б могла використовуватися розсіюється на резисторі. І в такому випадку доцільно використовувати додатковий перетворювач, який сам забере цю енергію і потім її можна буде використати при пуску двигуна.

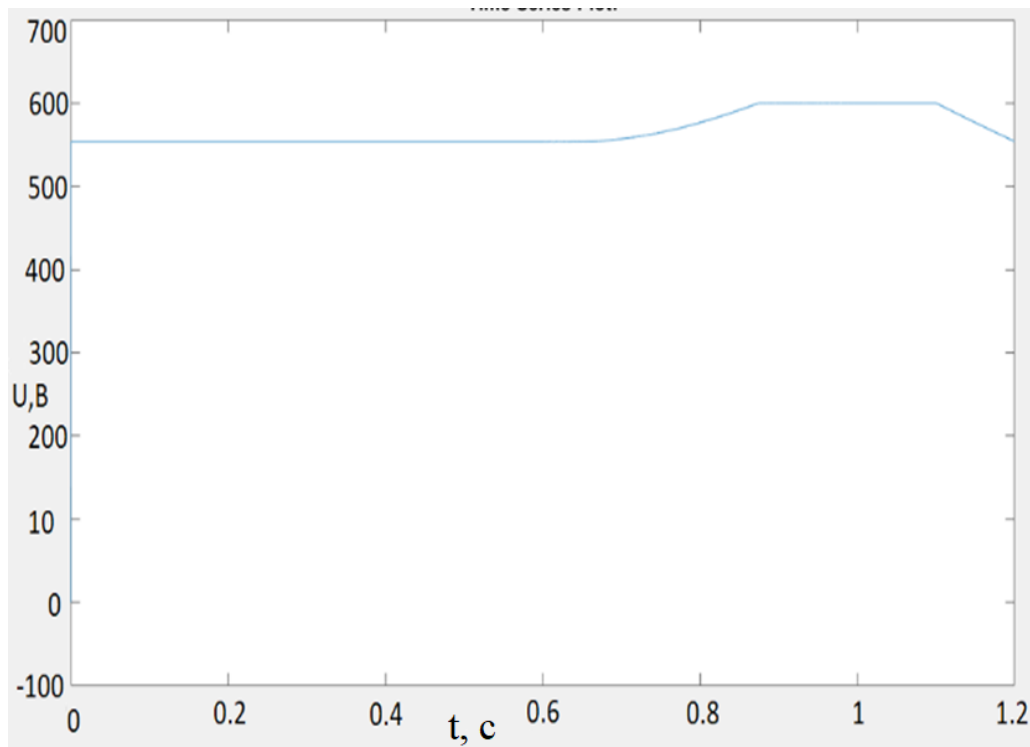


Рис. 3.9 Напруга ланки постійного струму

3.3 Моделювання системи живлення з накопичувачем

На рис. 3.10 зображено систему живлення електроприводу з накопичувачем. Вона складається з тих же елементів що і система без ємнісного накопичувача, але в ній є додатковий інвертор зарядного пристрою, що дозволить акумулятору як віддавати енергію, так і накопичувати її.

Такий перетворювач потрібен для того, щоб заряджати акумулятор енергією, яка виділяється при гальмуванні. А після того, як енергія накопичилася вона повторно використовується, щоб знизити навантаження на мережу під час пуску двигуна [28].

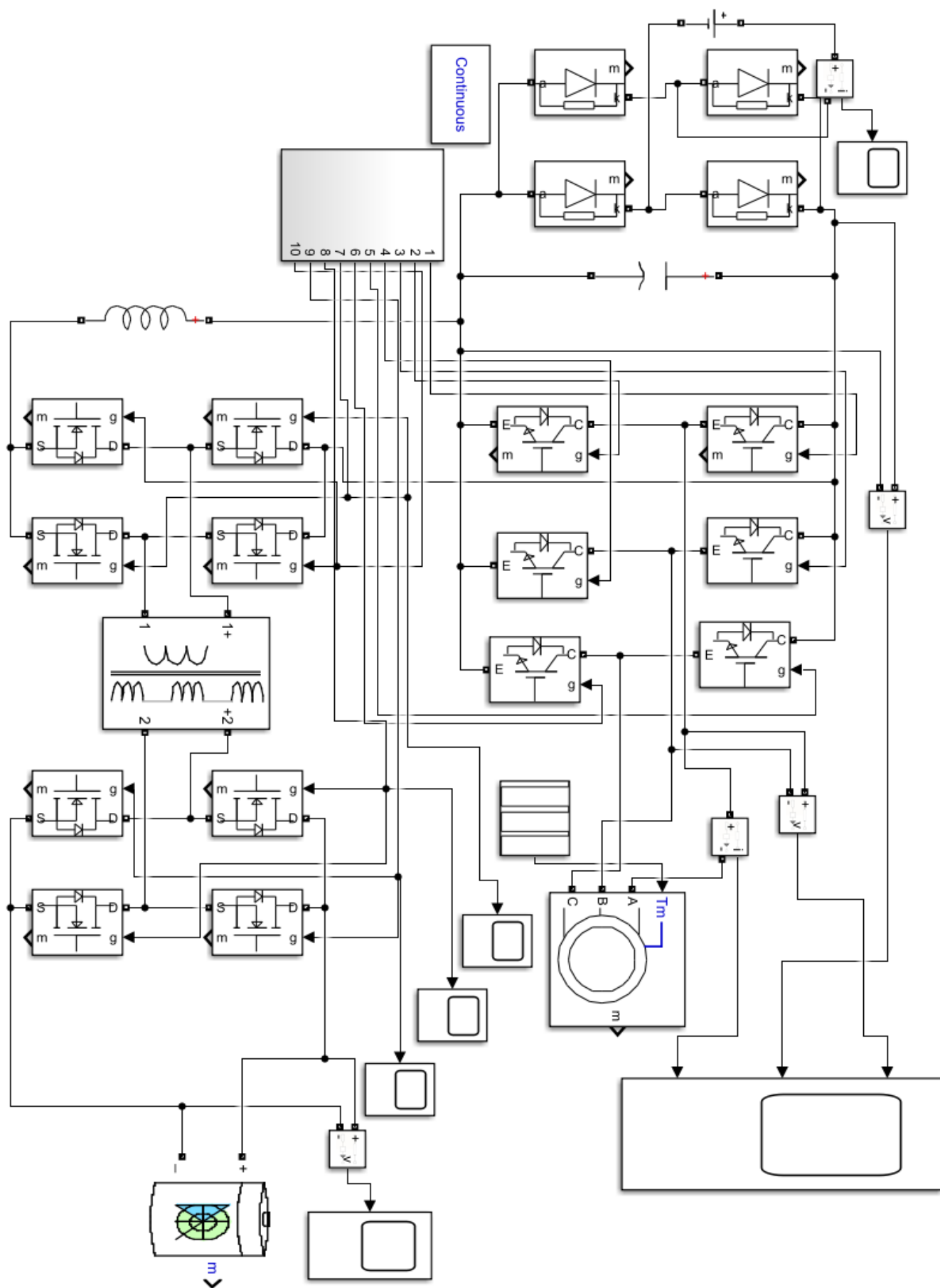


Рис. 3.10 Система живлення електроприводу з накопичувачем

Керування електроприводом і перетворювачем є узгодженим. Коли електропривод гальмує, то це зумовлює підвищення напруги в ланці постійного струму і цей надлишок енергії, який зумовив це зростання, повинен піти в акумулятор для накопичення енергії [29]. Для живлення електроприводу у разі відсутності мережі буде використовуватися акумулятор. Перетворення енергії відбувається за допомогою перетворювача з двостороннім передаванням енергії.

На рис.3.11 зображено діаграма системи електроживлення з ємнісним накопичувачем. Така система дає можливість запускати двигун з меншим навантаженням на мережу.

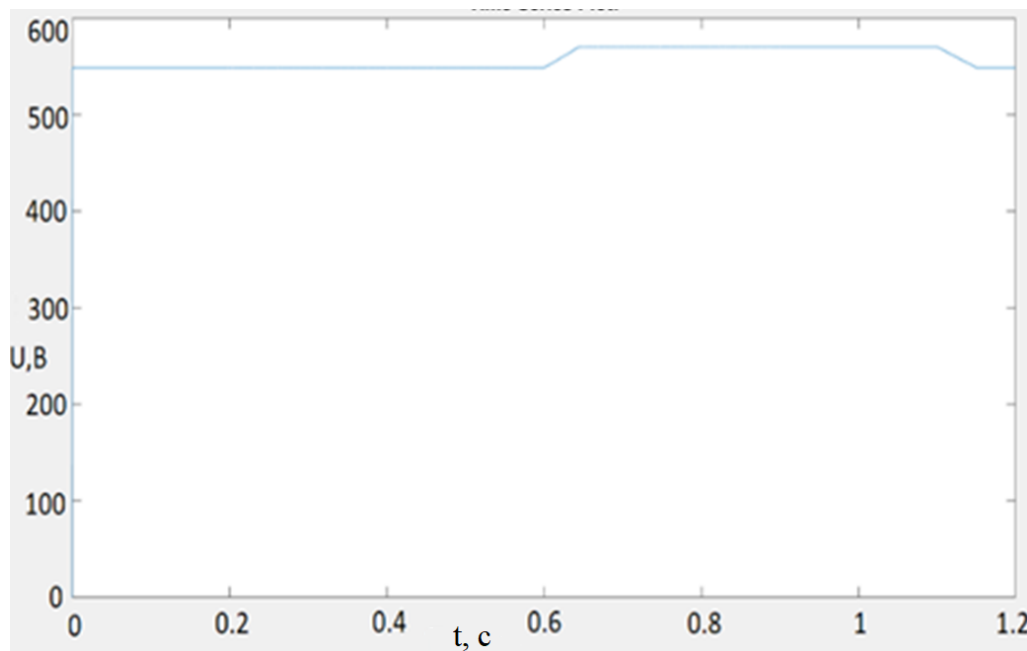


Рис.3.11 Напруга ланки постійного струму

Висновки до третього розділу

Отже, в даному розділі було проведено моделювання системи електроживлення тролейбусу в програмному середовищі Matlab, показано діаграми роботи. Можна відзначити, що при плавному пуску можна уникнути стрибка струму при старті двигуна. Також за рахунок релейного керування вдалося знизити навантаження на мережу за рахунок того, що при перевищенні порогового значення струму електропривід буде живитися від

силової батареї, а також можна під час гальмування енергію накопичувати до акумуляторної батареї. Варто відмітити те, що при використанні розподілення імпульсів в системі керування уникнули підмагнічення трансформатору.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

В умовах швидкого розвитку процесів глобалізації інвестиції відіграють важливу роль в економічному взаємозв'язку між країнами та всередині національної системи. Україна є частиною світових взаємозв'язків і бере активну участь у глобальній системі: вступ до СОТ, розширення вільних економічних зон, європейська інтеграція, асоціація з ЄС тощо. Такий розвиток подій стимулює розвиток нових видів бізнесу, які зараз називаються стартапами. Як відомо, розвиток підприємництва є запорукою успішного процвітання країни. Однак тенденція показує, що значний відсоток (близько 90%) нових гравців, які виходять на ринок, не конкурують і залишають його після року існування. Однією з причин є неправильна думка про концепцію товару, етапи його виходу на ринок і, звичайно, про маркетинг, які не мають чіткого напрямку. Ось чому дослідження стартапу та його основних аспектів щодо ефективного функціонування на ринку є актуальним.

Запуск може відбуватися всередині компанії (великі компанії створюють підрозділи, які працюють над розробкою нового продукту, залежного чи незалежного від компанії), а також ззовні, як самостійна ідея корпорацій. Дослідники стартапів часто покладаються на незалежність таких проектів. Важливим моментом після появи та схвалення ідеї є її аналіз, який визначає життєвий цикл товару та його життєздатність. Ідеї, що впливають із потреб споживачів, продаватимуться простіше, ніж аналогічно існуючим проектам. Накопичення ресурсів у стартапі є найважливішим аспектом його успішної реалізації. Він поєднує в собі інтелектуальні та фінансові інвестиції. Інтелектуальні - це команда, яка працює над розробкою та реалізацією ідеї. Фінанси - це засоби, що забезпечують просування товарів. Ефективність проекту забезпечується своєчасним та раціональним залученням та спрямуванням інвестицій на кожному етапі життя стартапу. Маркетинг інновацій слід розглядати: «як концепцію ринкової діяльності підприємства

(філософія бізнесу), коли джерело доходу сприймає зміни як аналітичний процес, що передбачає виявлення ринкових можливостей для інноваційного розвитку як засобу активного впливу на споживачів та цільового ринку в цілому, з виведенням та просуванням інновацій на ринку як функцією управління інноваціями, спрямованою на виявлення можливих сфер інноваційної діяльності, їх матеріалізацію та комерціалізацію »[30]. Якщо говорити про сучасний стан розвитку маркетингу, який забезпечує ефективне просування та функціонування стартапу, а потім забезпечити хороший результат - потрібно знайти фінансування. Основними інвесторами на українському ринку можуть бути такі установи: бізнес-інкубатори, прискорювачі бізнесу, бізнес-ангели, венчурні фонди та ремісничі компанії [31].

4.1 Опис ідеї проекту

В першу чергу необхідно розробити зміст ідеї та зазначити потенційних клієнтів, яким би була цікава дана ідея.

В табл. 4.1 розглядаються напрямки застосування та вигоди для користувача.

Таблиця 4.1

Зміст ідеї: розробка та реалізація системи електроживлення тролейбусу з використанням силового акумулятора	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
	1. Міський транспорт	Підвищення мобільності міського транспорту
	2. Виготовлення електромобілів	Підвищення ефективності роботи системи живлення електромобілів

Провівши аналіз було визначено два основні напрямки.

Щоб досконало провести оцінку бізнес-ідеї потрібно виконати аналіз потенційних техніко-економічних переваг (відмінність від існуючих аналогів та замінників), в порівнянні з тим, що пропонують конкуренти.

В табл. 4.2 представлено техніко-економічні характеристики ідеї та виконано порівняння з трьома конкурентами. Після проведення цього дослідження було визначено, що ідея має унікальні характеристики на ринку та конкурентно спроможною.

Таблиця 4.2

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3
1	Можливість автономного руху	+	-	+	+
2	Рекуперація енергії до акумуляторної батареї	+	-	+	+
3	Можливість руху без додаткового прокладання контактних мереж	+	-	+	-
4	Зменшення навантаження на мережу	+	-	-	-

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Наступним етапом є розробка технологічного аудиту ринку для оцінки доступності технологій, що необхідні для розробки системи електроживлення тролейбусу з високовольтним акумулятором (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Забезпечення мобільності тролейбусу	Побудова схемо-технічних рішень, дослідження	Наявна	Доступна
2	Винайдення способу запасання електроенергії до акумулятора та	Побудова схемо-технічних рішень, дослідження	Наявна	Доступна

	зменшення навантаження мережу	на			
--	-------------------------------------	----	--	--	--

Згідно до табл. 4.3 можемо сказати, що всі необхідні технології для побудови схемо-технічних і в тому числі для проведення наукових досліджень є доступними.

Далі необхідно провести аналіз ринкових можливостей за для визначення потенційних клієнтів (табл. 4.4). Дане дослідження починається з визначення основних гравців, загального обсягу продажів, динаміки ринку, наявності певних обмежень для входу на ринок, визначаються специфічні вимоги для стандартизації та специфікації та визначення середньої норми рентабельності в галузі. Показники, які було перераховано, визначають наявність попиту, динаміку на ринку та його обсяг [32].

Таблиця 4.4

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	30
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	12000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Є (Згідно ДСТУ)
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	70

Відповідно до проведеного аналізу (табл. 4.4) ринок є привабливим для входження. Наступним кроком є визначення потенційної цільової категорії та вимог споживачів до товару (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Забезпечення	Міський	Експлуатація в	Висока

автономного ходу; зменшення навантаження на мережу	транспорт (комунальні служби)	різних умовах	енергоефективність, надійність, невибагливість, якість
---	-------------------------------	---------------	--

Далі необхідно провести оцінку ринкового середовища, що в свою чергу складається з факторів загроз (табл. 4.6) та факторів можливостей (табл. 4.7).

Таблиця 4.6

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Вартість системи електроживлення	Досить висока вартість	Додаткові джерела фінансування
2	Вартість акумуляторної батареї		

Таблиця 4.7

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Підвищена мобільність	Переваги в енергоефективності та при перевезенні пасажирів	Залучення
2	Зменшення навантаження на мережу		

Наступним потрібно провести аналіз конкуренції ринку (табл.4.8).

Таблиця 4.8

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції: чиста	Якісні показники	Покращення товару та сфери обслуговування
2. За рівнем конкурентної боротьби: локальна	Належить до локальних мережеских рішень	Розширення функціоналу та орієнтації користувачів
3. За галузевою ознакою : міжгалузева	Різні галузі застосування	Розширення функціоналу та галузей застосування
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Відноситься до перевізників	Розширення можливостей транспортного засобу

5. За характером конкурентних переваг: цінова та нецінова	Чим дешевше – тим привабливіше; Чим краще – тим рентабельніше;	По якості цінової політики та якості перевезень
6. За інтенсивністю: не марочна	Конкуренція не жорстка	Проведення заходів по розвитку бренду

Завершальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриця аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities)) (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

Сильні сторони	Слабкі сторони
Підвищена мобільність, зменшення навантаження на мережу	Вартість системи електроживлення, Вартість акумуляторної батареї
Можливості	Загрози
Переваги при перевезенні	Досить висока вартість

4.4 Розробка маркетингової програми стартап-проекту

В першу чергу, що собою представляє розробка ринкової стратегії, а саме це визначення стратегії охоплення ринку. Передусім необхідно здійснити вибір стратегії конкурентної поведінки та виконати опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.10).

Таблиця 4.10

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів ?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Так	Ні	Помірна, місцями агресивна

Першою стоїть задача сформулювати маркетингову концепцію товару, який буде отримувати споживач.

Це можна зробити, підсумувавши результати, попереднього аналізу конкурентноспроможності товару (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Забезпечення автономного ходу; Зменшення навантаження на мережу.	Реалізація системи електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором характеризується підвищеною мобільністю на кращою енергоефективністю.	Дальність ходу без контактної мережі; Надійність; Енергоефективність.

Важливим кроком є визначення цільових меж, якими потрібно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар. Визначення цінових меж описано у табл. 4.12.

Таблиця 4.12

Рівень цін на товари - замітники	Рівень цін на товари - аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
120-150% від ціни нашого продукту	Немає	20000-40000 грн зі 100 од	5000/10000 грн

Останнім кроком є визначення оптимальної системи збуту (табл. 4.13).

Таблиця 4.13

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Задоволення	Задоволення	Усі можливі	Власна

	потреб користувача	потреб клієнтів	канали збуту (глибока)	
2		Реклама товару та задоволення потреб клієнтів	Усі можливі канали збуту (глибока)	Залучена

Висновки до четвертого розділу

В ході розробки стартап проекту було визначено зміст ідеї, напрямки застосування та вигоду для користувача. Також відзначено сильні та слабкі сторони проекту. Виконано оцінку можливостей та загроз, які можуть перешкоджати для входу на ринок. Проведено аналіз потенційних клієнтів та аналіз конкуренції стартап-проекту на ринку.

Тобто можемо сказати, що за рахунок підвищення попиту на такі послуги проект має можливість комерціалізації, але і водночас створюються жорсткі конкурентні умови для входу на ринок. Виходячи з груп потенційних клієнтів (комунальні служби та виробники електромобілів) стартап має всі можливості для впровадження та подальша реалізація проекту є доцільною.

ВИСНОВКИ

В магістерській дисертації розглядається система електроживлення транспортного засобу з високовольтним акумулятором. Використання тролейбусу в міському транспорті є більш доцільно в порівнянні з автобусами, завдяки відсутності викидів вуглекислого газу. В той же час є один суттєвий недолік, як прив'язка до контактної мережі, але він нівелюється за рахунок акумуляторної батареї.

В роботі показано переваги використання такої системи електроживлення та досліджено режими її роботи і порівняно зі звичайною схемою електроживлення тролейбуса. Визначається найефективніша ШІМ модуляція для оптимального режиму роботи. Для живлення електроприводу у разі відсутності мережі буде використовуватися акумулятор.

Були проведені розрахунки перетворювачів (3-х фазного та перетворювача з двостороннім передаванням енергії) на потужність $P=180$ кВт та напругу $U=600$ В. Перетворення енергії відбувається за допомогою перетворювача з двостороннім передаванням енергії. Такий перетворювач потрібен для того, щоб заряджати акумулятор енергією, яка виділяється при гальмуванні. Накопичена енергія, повторно використовується, щоб знизити навантаження на мережу під час пуску двигуна. Проведено розрахунок ємності акумуляторної батареї, яка складає $C=37$ А·год.

Також в ході виконання дослідження було промодельована дану систему в програмному середовищі та представлено діаграми її роботи. В моделі застосовується релейне керування, що дозволяє зменшити навантаження на мережу та накопичувати енергію до акумуляторної батареї під час гальмування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zavada, J . Vehicles for public city transport, FPZ, Zagreb, 2006.
2. «Trolleybus» [Electronic resource], URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B9%D0%B1%D1%83%D1%81>.
3. Brand C. and Preston J. Technical and Financial Characteristics of Public Transport Systems, Transport Studies Unit, University of Oxford, 2001.
4. White P. Public Transport: Its Planning, Management and Operation, 4th edn. Spon Press, London, 2002.
5. Litman T. Transportation Cost Analysis. Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Canada, 1999.
6. Libich J., Maca J., Vondrack J. Supercapacitors: Properties and applications, Journal of Energy Storage, Volume 17, June 2018, Pages 224-227.
7. Pattison T. Jane's Urban Transport Systems 2000–2001, 19th edn. Jane's Information Group Ltd, Coulsdon, 2000.
8. Bo Persson, The Trolleybus and the Environment, TRB Special Report, 2000.
9. Wolek M., Wolanski M., Bartłomiejczyk M. Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland), Journal of Cleaner Production, Volume 279, 2020.
10. Bartłomiejczyk M., Hrbac R., Połom M. Trolleybus with traction batteries for autonomous running, International Scientific Symposium Elecrtoenergetica 2013, 2013.
11. Контактная сеть троллейбуса [Электронный ресурс], URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Контактная_сеть_троллейбуса.
12. Бакланов А., Есин Н., Мурзин Д., Шиляков А. Тенденции развития тягового электропривода электроподвижного состава, Национальные приоритеты России, 2013.

13. Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлев, В.М. Смуригин, О.В. Ковальов, А.В. Вужицкий Электричні машини та апарати, Навчальний посібник, Київ, Аграрна освіта, 2013.
14. Чернявська О.М. Конспект лекцій, Машинобудівний коледж Донбаської державної машинобудівної академії, 2013.
15. Норми випробування електрообладнання, Нормативний документ мінпаливенерго України, Київ, Міністерство палива та енергетики України, Об'єднання енергетичних підприємств «Галуzeвий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики», 2007.
16. Акумуляторні батареї [Електронний ресурс], URL: <http://www.ecosvit.net/ua/akumulyatorni-batarei-akumulyatori-lipo>.
17. D.A. Khrustalev. Accumulators. /Khrustalev D.A. - Emerald – 2003 - 224 p.
18. Autonomous power supply systems / B.F. Samoilenko, B.T. Kononov, Yu.A. Skvortsov et al. - Ministry of Defense of the USSR, 1990 .-- 327 p.
19. Hubka, I. O., Verbytskyi, I. V. Комбінована система електроживлення тролейбуса та економічний ефект від її використання. Мікросистеми, Електроніка та Акустика, 2019, 24(4), p. 32-39. doi: 10.20535/2523-4455.2019.24.4.183845.
20. Бирюков С. Дроссели для импульсных источников питания на ферритовых кольцах.
21. Закон управления М.П. Костенко [Електронний ресурс], URL: https://studref.com/464045/tehnika/zakon_upravleniya_kostenko.
22. Плотников Ю. В., Уймин Ю. С. Особенности реализации векторной ШИМ для микропроцессоров TMS320, Конференция молодых ученых, 2018.
23. Герасимов И. Преимущества пространственно- векторной модуляции, Конструктор машиностроитель, № 4, 2013.
24. Jenkins J., A closer look at energy consumption in EVs, 2018. CHARGED, Electric Vehicles Magazine, under Features, Tech Features.

25. Yang S.C., Li M., Lin Y., Tang T.Q., Electric vehicle's electricity consumption on a road with different slope, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Volume 402, 2014, Pages 41-48, ISSN 0378-4371, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.01.062>.
26. Rogge M., Wollny S. and Uwe Sauer D. Fast Charging Battery Buses for the Electrification of Urban Public Transport—A Feasibility Study Focusing on Charging Infrastructure and Energy Storage Requirements, *Energies* 2015, 8, 4587-4606; doi:10.3390/en8054587.
27. Системи електроживлення електронної апаратури. Конспект лекцій для студентів спеціальності 171 «Електроніка», спеціалізації 8(7).050802 «Електронні системи». - К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 180 с.
28. I. A Martyukhin, M. V. Bely «Vehicle with a battery with reduced overall dimensions», *ElectronAccountEng*, vol. 2, no. 1, pp. 16-20, 2019. doi: 10.20535/2617-0965.2019.2.1.162155.
29. Control systems for power supply and electric drive: textbook. / B.F. Samoilenko, B.T. Kononov, P.M. Pushkov et al. - Ministry of Defense of the USSR, 1990 .-- 415 p.
30. Finansuvannya startapiv ta mozhlyvosti yikh zaluchennya v Ukrayini [Sources for startups financing and opportunities for their involvement in Ukraine]. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/308986301> [In Ukrainian].
31. Kolosok A., Koniukh I., Definition of Startup Projects, Main Problems and Prospects of Development, *Economic journal of Lesia Ukrainka Eastern European National University* 12(4):62-67, 2017, DOI: 10.29038/2411-4014-2017-04-62-67.
32. Тиль, П. От нуля к единице : как создать стартап, который изменит будущее / П. Тиль, Б. Мастерс; перевод с англ. – Москва : Альпинапаблишер, 2015. – 188 с.

ABSTRACT

1.1 Characteristics of the trolleybus

The idea of using trolleybuses in public transport was more controversial than any other public transport. The reason for this is that, from an objective economic point of view, the space for the introduction of trolleybuses is in a very narrow interval between city buses and trams. Economically justified sales of trolleybuses are from about 500 to 2500 passengers per hour [1]. Often the advantages and disadvantages of certain types of vehicles for public transport are insufficiently analyzed. Usually carriers in public urban areas choose trams or buses. Buses cover routes that would not be cost-effective if tram traffic were laid, and trams are commonly used for more passengers per unit time. However, given the growing concern for the environment, the city authorities of major European cities are increasingly considering the introduction of trolleybuses in urban transport more rational. In order to gain a better understanding of the possibilities of introducing certain types of vehicles for public transport, their advantages and disadvantages will be analyzed.

The word trolleybus is of English origin, meaning a bus that has carts for power supply from the overhead line [2].

When comparing individual vehicles for urban transport, criteria are usually established that are important for decision-making on the implementation of certain types of vehicles. Usually the following criteria: economic, traffic, environmental and technical criteria.

1.2 Advantages of using a trolleybus with a rechargeable battery

Considering the block diagram of the trolleybus (Fig. 1.1), we can see that it consists of a network to which the converter is connected to reduce the voltage to the mains voltage. Power to the electric drive is supplied through a radio reactor to

reduce interference. The battery in this case serves to support the power supply of the onboard network and drives additional mechanisms (opening the lighting door,...) in the absence of the network. The disadvantage of such a system is that the energy during braking is dissipated on the braking resistor.

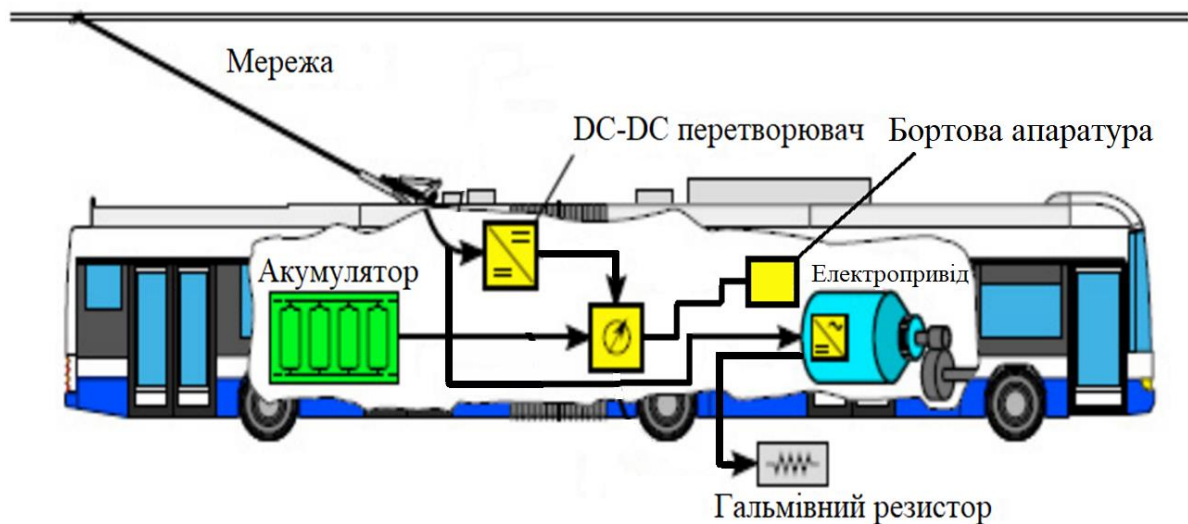


Fig.1.1 Block diagram of the trolleybus

The main difference in the structure of the trolleybus with the ability to move without a catenary is the presence of a power accumulator, which allows to provide the necessary movement (Fig. 1.2). Also, by installing an additional converter with two-way power transfer, it is possible to recover energy to the battery and use this energy during overclocking.

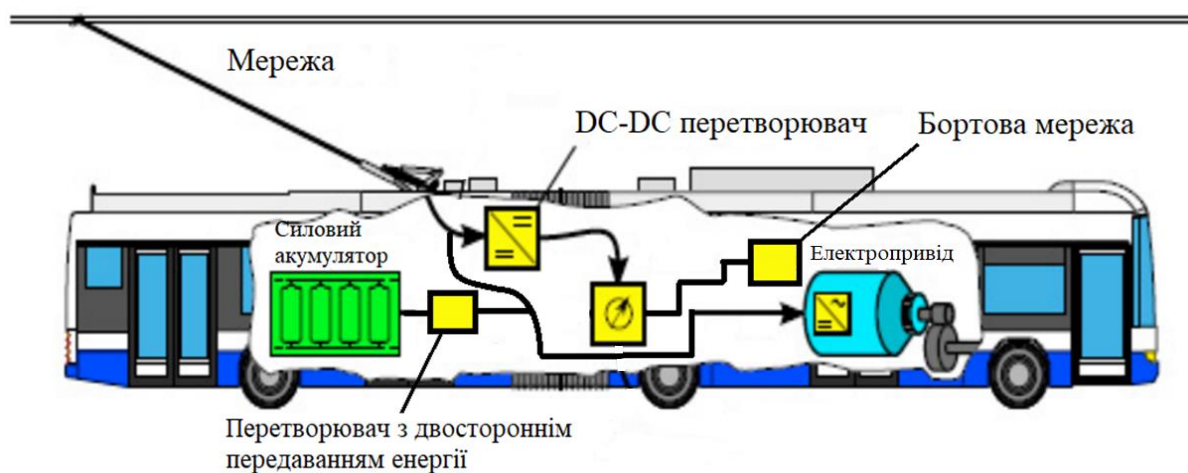


Fig. 1.2 Block diagram of a trolleybus with a traction battery

Traction batteries are a very important component for a battery-powered trolleybus. The advantage of this new technology is that a battery smaller than 2 to 10 times smaller than an electric bus is enough for autonomous movement of the trolleybus. In addition, in this case, in the absence of a network or change of route, the trolleybus can continue its movement.

The most important parameter of the battery is capacity. If you install a high-capacity battery, the weight of the vehicle will increase, which leads to less passenger capacity. Also, when installing a large capacity battery, the cost of transport increases. The most commonly used batteries are nickel-cadmium, lithium-ion and lithium-titanium oxide. Lithium-ion batteries have a capacity to weight ratio three times greater than nickel-cadmium. The capacity of the lithium-ion battery weighing 800 kg is 80 kWh. The range of a trolleybus with a traction battery varies from 10 to 30 km depending on the battery capacity, ambient temperature, route, vehicle load and more [16, 17].

It can also be noted that energy recovery has a significant potential for energy savings, if the trolleybus with a battery is equipped with such technology. The energy saving potential is from about 0.3 to 0.6 kWh / km. Therefore, during the braking of the trolleybus, the energy can be recovered to the battery, in which case the energy will not be dissipated on the braking resistors. You can also use battery power when starting the motor, which will reduce the load on the network.

1.3 Block diagram

In fig. 1.3 shows the structural schemes of the trolleybus with a high-voltage battery (a) and the usual power scheme of the trolleybus (b).

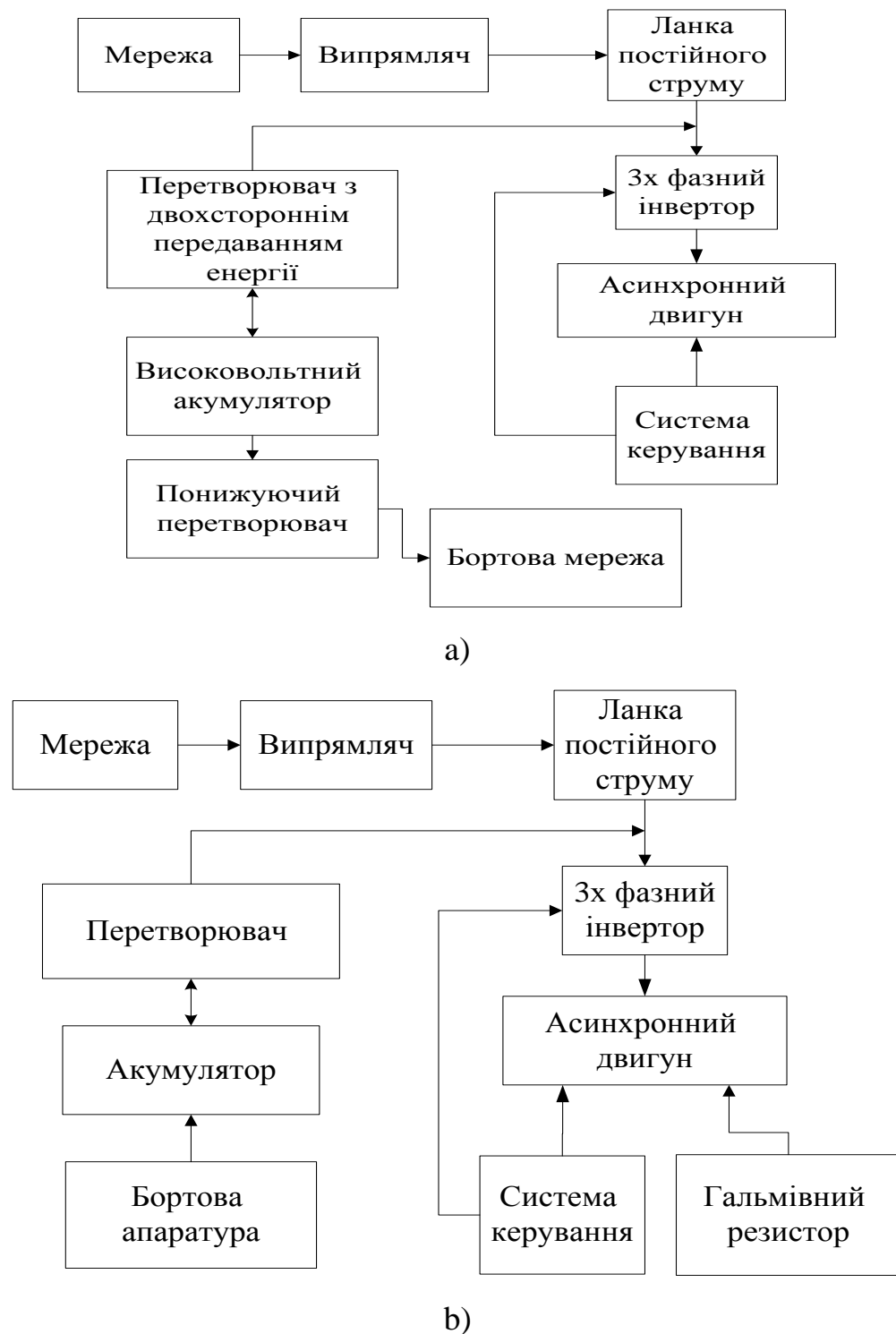


Fig. 1.3 Block diagram of the trolleybus

Comparing these two power schemes, we can see that the main difference is in the different converters and energy storage elements. A conventional trolleybus power scheme uses a simple converter that creates a voltage level sufficient to charge the battery that powers the on-board network. Another power scheme uses a

converter with two-way power transmission and a traction battery, which allows you to drive the motor.

The peculiarity of this system is that the trolleybus can move some part of the route autonomously. Power for power is taken from a DC voltage source. In this case, a rectifier is required to prevent emergency operation when the polarity of the connection can be confused. After the rectifier is a DC link - a capacitor. A 3-phase inverter is connected to the link, which generates a 3-phase voltage on the motor.

The disadvantages of this scheme is that during the start-up of energy is selected much more than in the steady state. It is worth noting that during braking, energy cannot be transferred back to the mains, as the rectifier will not allow this to happen. In this case, you can replace the rectifier with an active rectifier, which in turn will consist of transistors. Using such a converter, we will be able to recover energy to the network.

1.4 Trolleybus traffic modes

There are the following modes of trolleybus movement, which are shown in Fig.1.4. Depending on the amount of energy required, the interval of motion is divided into three intervals: acceleration ($0-t_1$), motion at a constant speed (t_1-t_2), braking and energy recovery (t_2-t_3).

In the first interval, the energy for the trolleybus will be taken from the network, as well as in parallel from the battery. In the second, the electric drive will be powered only from the mains, in the third interval, energy will be recovered to the battery.

The energy taken will be stored in the storage system for further use during the acceleration of the trolleybus to reduce the load on the network. The current consumption from the network and the storage system is shown in Fig. 1.4 (c, d).

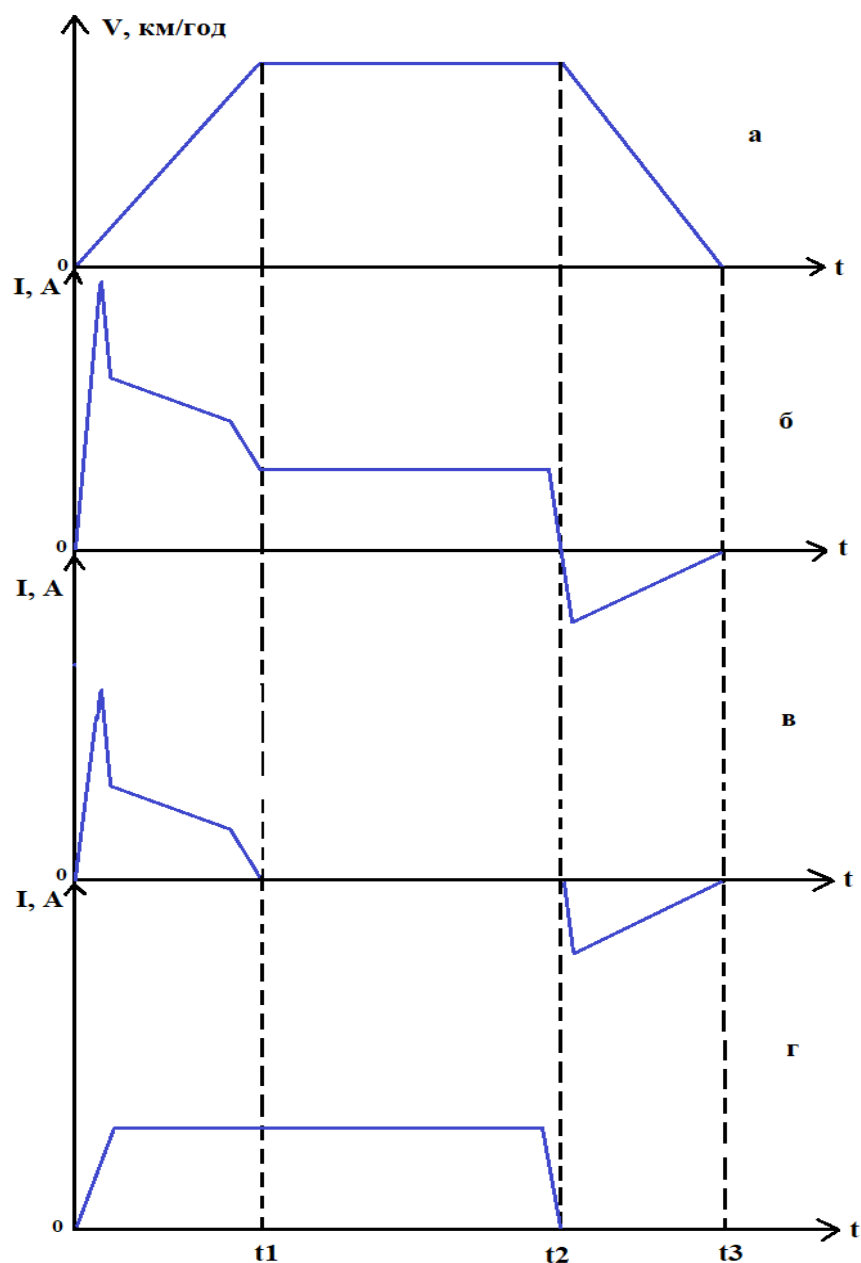


Fig. 1.4 Modes of trolleybus movement: a) dependence of speed on time; b) current consumption by the electric motor at different intervals; c) current consumption from the battery; d) current consumption from the network.

1.5 The principle of operation of the control system

Because the power required to start the motor is much higher than in steady state, which means higher starting currents and as a result increased load on the network. Therefore, a power accumulator is used to start the engine.

The principle of operation of the control system can be formulated as follows (Fig. 1.5). In the first moment of time at dispersal of the trolleybus together with a network the storage battery is used and at the expense of it loading on a network decreases, peak values of current are compensated at the expense of the battery.

When the trolleybus is moving with constant acceleration, the battery is disconnected and power is supplied only from the mains.

During braking, due to the converter with two-way energy transfer, energy is recovered to the battery, which is then used to start the motor.

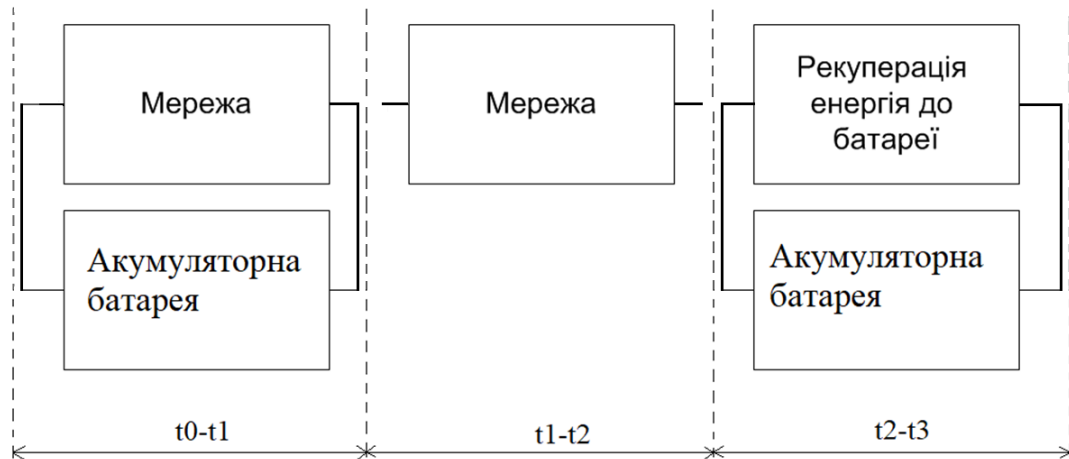


Fig. 1.5 Power supply for different intervals of trolleybus movement

The profile of the route on which the battery-operated trolleybus travels significantly affects its energy consumption. Based on available calculations and simulations [24], mainly mountain climbing has a significant impact on energy consumption. Available resources provide data that can serve as a guide. With a slope that increases by 5%, a 3-fold increase in electricity consumption is expected [25]. It is possible to cover rises with a design of overhead wires that will solve a problem of the increased consumption of energy from the accumulator. The good news is that most trolleybuses with batteries are equipped with the possibility of recovery. This means that you can save some energy during braking and use it to

recharge the traction battery. Also, air resistance increases with speed. The trolleybus has a large front surface area, but at urban speeds this factor is minimal and is included in the average energy consumption.

The charge and discharge cycles will be as follows. The battery will be discharged during engine start-up and autonomous operation. The battery will be charged from the mains while the trolleybus is moving at a constant speed. During braking, the energy recovered can be stored or sent to the mains if the battery is fully charged. To increase the life of the battery, its charge will be maintained within 80-90% of the maximum, so that in the event of an unforeseen situation to move autonomously for some time. The lower threshold of the battery discharge will be 20% of the maximum capacity, which will increase battery life [26].

Figure 1.6 shows a block diagram of the power supply of the electric drive. The system works as follows. The current sensor in front of the input converter (P1), which is controlled by the control system SC1, reads the value of current consumed from the network and in case of exceeding a certain threshold value of the network by means of the control system (SC2) power is supplied by the battery. The recovery mode is activated if the value of the voltage sensor exceeds the mains voltage, in which case the charger converter will work in the opposite direction, accumulating energy to the battery.

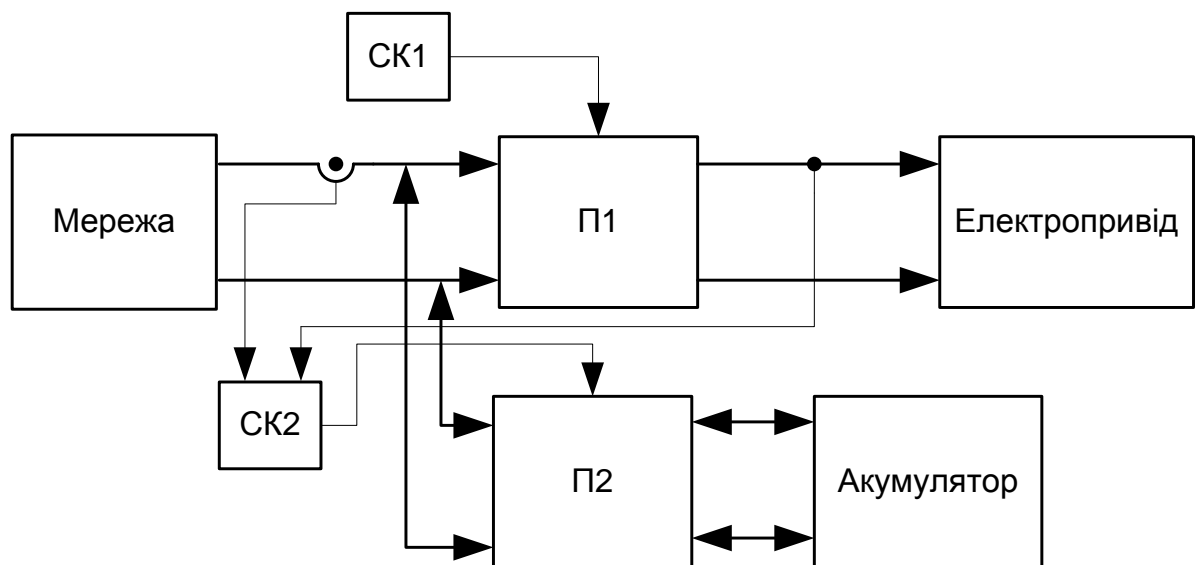


Fig.1.6 Block diagram of the power supply of the electric drive

Relay control is a system that changes the output signal under the influence of a control signal that varies within certain limits. That is, the system is designed to provide control signals when the controlled parameters go beyond the specified limits [27]. Basically, such systems have two limit values: maximum and minimum, in which such a control system works (Fig. 1.7).

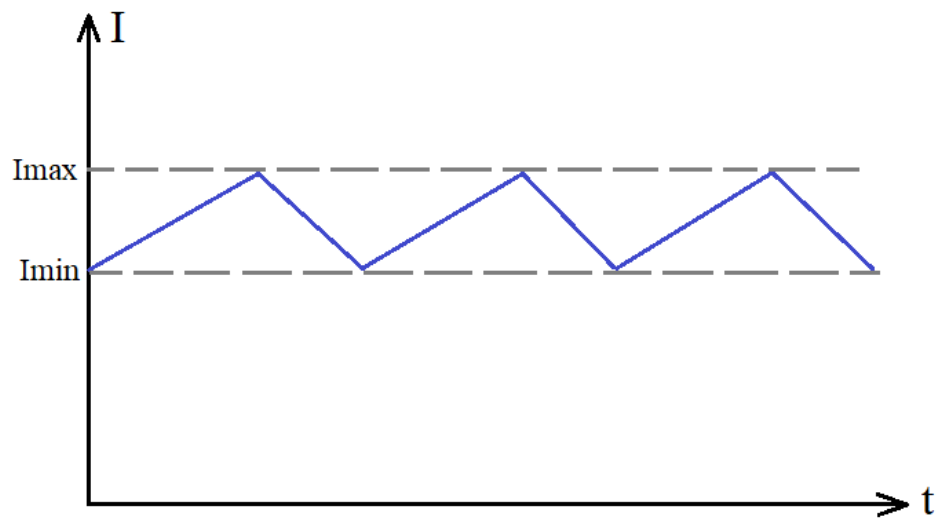


Fig. 3.3 Thresholds

In our case, only the maximum limit value is important, because if the maximum allowable mains current is exceeded, the power supply of the electric drive will be provided by the battery. And in case of exceeding the voltage value, the converter of the charger will work in the opposite direction, to store energy to the battery.