

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

1 КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **«Обґрунтування системи управління приводом гібридного автомобіля шляхом застосування акумуляторно-суперконденсаторного живлення»**

Виконав: студент VI курсу групи Ат-61

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”
(шифр і назва)

Олег БАЗЮК

(ім'я та прізвище)

Керівник: Юрій ГАБРИЄЛЬ
(ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

УДК 629.02:621.3

Базюк Олег Вікторович. «Обґрунтування системи управління приводом гібридного автомобіля шляхом застосування акумуляторно-суперконденсаторного живлення».

//Магістерська робота. – Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024. – 68 с.

Проведено аналіз типових акумуляторних батарей та топології систем живлення, що використовуються в електромобілях. Запропоновано багаторежимну акумуляторно-суперконденсаторну системи живлення електромобіля. Розраховано параметри системи живлення електромобіля та наведено математичну модель руху електромобіля. Побудовано комп'ютерну модель живлення електромобіля, що описує динамічні процеси в ній. Проведено симулювання у MATLAB Simulink досліджуваної багаторежимної гібридної акумуляторно–суперконденсаторної системи електричного живлення електромобіля. Розраховано економічний ефект від використання запропонованої системи.

Рис. 30, Табл. 3, бібліогр. джерел 22

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ	6
1.1. Джерела живлення електричних транспортних засобів	6
1.2. Топології систем живлення електромобілів.....	13
2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТА РОЗРОБКА СХЕМИ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ.....	17
2.1 Вихідні дані для розрахунку	17
2.2 Розрахунок параметрів електроприводу.....	17
2.3 Математична модель тягового зусилля дослідного електромобіля	18
2.4 Обчислення параметрів акумуляторної батареї при усереднених умовах руху дослідного електромобіля	19
2.5 Розрахунок суперконденсаторного модуля	20
2.6 Запропонована структура електричної системи	22
2.7 Режими роботи дослідної системи.....	27
2.8 Стратегія керування енергією.....	31
3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИМУЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.....	35
3.1 Моделі транспортного циклу руху електромобіля та споживаної електричної потужності.....	35
3.2 Опис комп'ютерної моделі запропонованої гібридної системи живлення електромобіля	38
3.3 Результати комп'ютерного моделювання режимів роботи досліджуваної схеми	44
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	52
4.1 Аналіз потенційних небезпек	52
4.2 Заходи по забезпеченню безпеки	53
4.3 Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці	54
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	62
5.1 Оцінка ефективності енергозбереження.....	62
5.2 Розрахунок економічної ефективності.	63
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66

ВСТУП

Для того, щоб електромобіль міг повноцінно функціонувати, йому потрібна система накопичення енергії з високою потужністю та високою густиною енергії. На сьогоднішній день існують акумуляторні батареї (АКБ) з високою питомою потужністю, але вони мають великі розміри та обсяг. Крім того, при роботі на пікових навантаженнях АКБ виділяють багато тепла, що може призвести до їх передчасного зносу.

Для вирішення цих проблем можна використовувати суперконденсатори (СК) в системі накопичення енергії. СК мають високу питому потужність і можуть швидко заряджатися та розряджатися, що дозволяє зменшити втрати енергії та збільшити час автономної роботи електромобіля.

У зв'язку з цим в останні роки широко вивчаються гібридні системи зберігання енергії для електромобілів, що включають АКБ та СК.

Для зниження вартості перетворення потужності звичайна конструкція гібридної системи зберігання енергії використовує двонаправлений DC–DC перетворювач. Гібридні системи зберігання енергії з одним DC–DC перетворювачем можна розділити на конфігурацію СК/АКБ або АКБ/СК, а також покращену конфігурацію на базі двох DC–DC перетворювачів СК/АКБ і АКБ/СК.

Однак наявні конфігурації не можуть забезпечити живлення електроприводу безпосередньо без DC–DC перетворювача, що призводить до втрат енергії та збільшення вартості.

Досліджена в магістерській роботі конфігурація гібридної системи електричного живлення забезпечує прямі режими роботи як АКБ, так і СК безпосередньо для живлення електроприводу.

2 АНАЛІЗ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

1.1. Джерела живлення електричних транспортних засобів

На сьогоднішній день активне використання нафтових ресурсів, зокрема як пального для транспортних засобів, призвело до суттєвого погіршення екологічної ситуації в усьому світі. Це призвело до необхідності розробки та впровадження електромобілів. Однак однією з ключових проблем, яка гальмує масове виробництво, є недоліки існуючих систем автономного живлення для електричних транспортних засобів. Від правильного вибору джерела енергії для автономного живлення в значній мірі залежать якісні характеристики електромобіля в цілому.

Автономні джерела живлення, які використовуються в електромобілях, повинні відповідати ряду вимог. Вони мають мати низький рівень саморозряду та внутрішнього опору, високу надійність, довгий термін служби, доступність за низькою вартістю, не повинні шкодити розташованому поруч обладнанню та гарантувати безпечне обслуговування. У якості тягових джерел енергії можуть бути застосовані акумуляторні батареї, суперконденсатори та рідинні паливні елементи [1].

Акумуляторні батареї. Є найбільш поширеними засобами зберігання енергії. Загалом, всі сучасні електромобілі використовують енергію від високовольтних тягових акумуляторних батарей (АКБ). Однією з ключових проблем, яка обмежує широке виробництво електромобілів, є обмежена дальність подорожей та тривалий час зарядження АКБ. Питання вибору АКБ для електромобіля залишається актуальним, і важливо розуміти їхні переваги та недоліки [3]. Акумуляторні батареї є основою будь-якого електричного пристрою, і наявність знань та інформації щодо їхнього утримання важлива для забезпечення тривалого функціонування.

Залежно від конкретного застосування АКБ, деякі їх параметри можуть бути більш важливими, ніж інші. Табл. 1.1 надає порівняння основних параметрів акумуляторних батарей [2].

Таблиця 1.1 - Порівняння основних параметрів АКБ.

Тип	Pb	Ni-MH	Li-Ion	Ni-Cd
Параметр				
Питома енергоємність:				
практична, Вт·год/кг	25...40	60...80	90..150	45...65
теоретична, Вт·год/кг	130	300	450	237
Питома потужність, Вт·год	180	1000	5000	500
Напруга елемента, В	2,1	1,2	3,7	1,2
Ресурс, циклів	2000	3000	15000	4000
Час швидкого заряду, год	6...8	2...4	0,5	0,5
Саморозряд, % в місяць	5	30	5...10	10
Температурний діапазон експлуатації, °С	-30...+60	-20...+60	-30...+60	-50...+40

У сучасний період для живлення електроприводів передусім використовують наступні типи акумуляторів: літій-іонні (Li-Ion), нікель-метал-гідридні (NiMH), свинцево-кислотні (Pb), натрій-метал-хлоридні та нікель-кадмієві (Ni-Cd). Акумулятори на основі свинцево-кислотних елементів доступні за низькою ціною та легко обслуговуються, що робить їх ідеальними для різноманітних застосувань. Ці акумулятори мають найменшу енергетичну густину серед всіх типів акумуляторів. У випадках, коли розмір та вага не вирішальні, а ефективність важлива, свинцево-кислотні акумулятори є ідеальним вибором.

Більш вдосконаленими є нікель-метал-гідридні акумулятори, які менше токсичні та широко використовуються в мобільних телефонах, двосторонніх радіоприймачах та інших пристроях. Вони мають вищу енергетичну густину

порівняно зі свинцево-кислотними та нікель-кадмієвими акумуляторами, але мають скорочений термін служби.

На сьогодні літій-іонні акумулятори є найпоширенішими в електромобілях. Вони відрізняються невеликою масою, великою кількістю циклів заряду-розряду, високою енергетичною густиною, високою напругою та меншою швидкістю саморозряду (лише 5% на місяць). Висока питома енергія в 140 Вт/кг є основною перевагою літій-іонних акумуляторів. Ця велика густина енергії дозволяє отримати легший акумулятор, що поліпшує діапазон та продуктивність електромобіля. У порівнянні зі свинцево-кислотними акумуляторами, літій-іонні мають втричі меншу вагу та утричі більшу потужність [6].

Літій-іонні акумулятори характеризуються високою вартістю, що становить їхній основний недолік. Виробничі витрати можуть перевищувати нікелеві на 40%. Однак завдяки інтенсивним дослідженням технологій літій-іонних акумуляторів вдалося знизити витрати виробництва. Триває проблема щодо безпеки цих акумуляторів, оскільки їх тепловиділення може спричинити загоряння або вибух при перезаряджанні, якщо тепло не виводиться. Крім того, коливання рівня заряду акумулятора може бути небезпечним. Таким чином, потрібна вдосконалена система управління акумуляторами, яка контролює напругу, температуру кожної комірки та стан заряду (SOC).

Порівнюючи габаритно-масові характеристики акумуляторів, таких як свинцево-кислотні (Pb), нікель-метал-гідридні (Ni-MH), нікель-кадмієві (NiCd), літій-полімерні (Li-Ion) та літій-іонні, можна визначити їхні параметри за допомогою графіка на рисунку 1.1, де відображені енергія, об'єм і маса. Мінімальна маса літій-іонного акумулятора, здатного накопичувати 15000 Вт·год енергії, становить 83,3 кг, у порівнянні з Pb – 375 кг, NiCd – 250 кг та Ni-MH – 187,5 кг. За габаритно-масовими показниками літій-іонні акумулятори практично в 5 разів перевершують свинцево-кислотні [2].

На рис. 1.2 представлено залежність ємності акумулятора від температури навколишнього середовища, в якому він знаходиться.

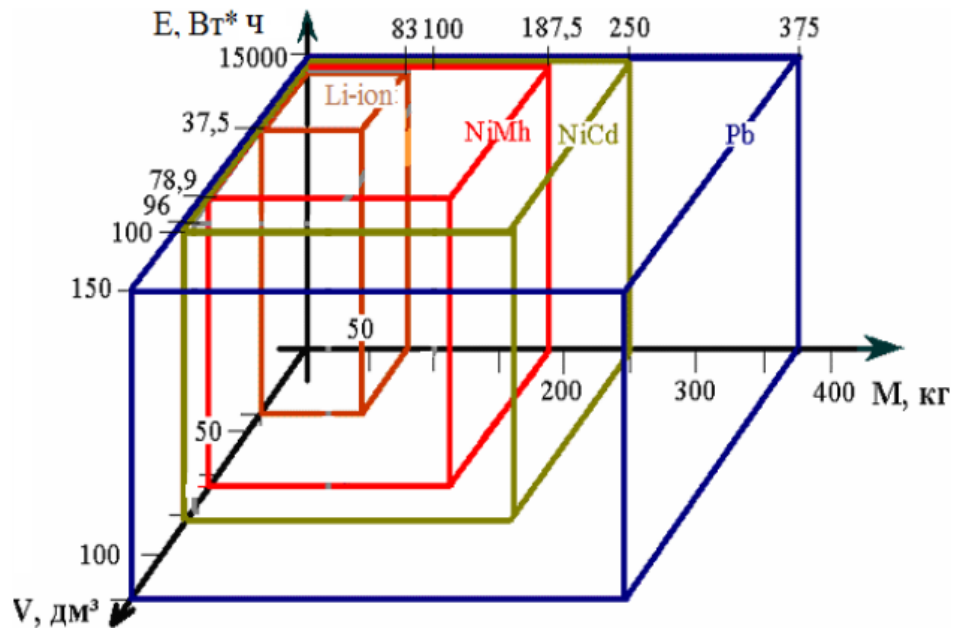


Рисунок 2.1 – Питомі густини енергії акумуляторів.

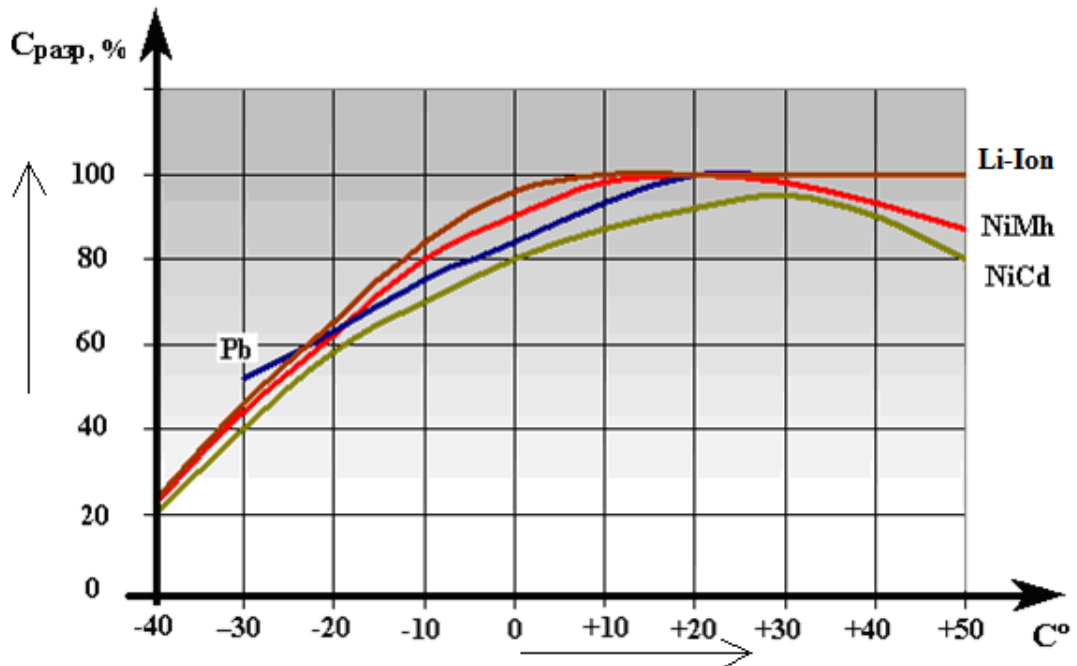


Рисунок 2.2 - Ефективність розряду акумуляторів стосовно температури їхньої експлуатації.

Літій-іонні акумулятори відзначаються високою ефективністю заряду і розряду (тобто ККД) навіть при низьких і високих температурах, перевершуючи інші типи акумуляторів. При звичайних умовах експлуатації їхня ефективність досягає до 95%.

Гібридні транспортні засоби та електромобілі ставлять різні вимоги до густини енергоефективності та густини потужності енергозберігаючого джерела. Для електромобілів необхідна висока питома ємність для збільшення запасу ходу, оскільки електроенергію необхідно накопичувати та віддавати в короткі проміжки часу. Середня питома ємність для електромобілів становить приблизно 110 Вт·год/кг (див. рис. 1.3) [2].

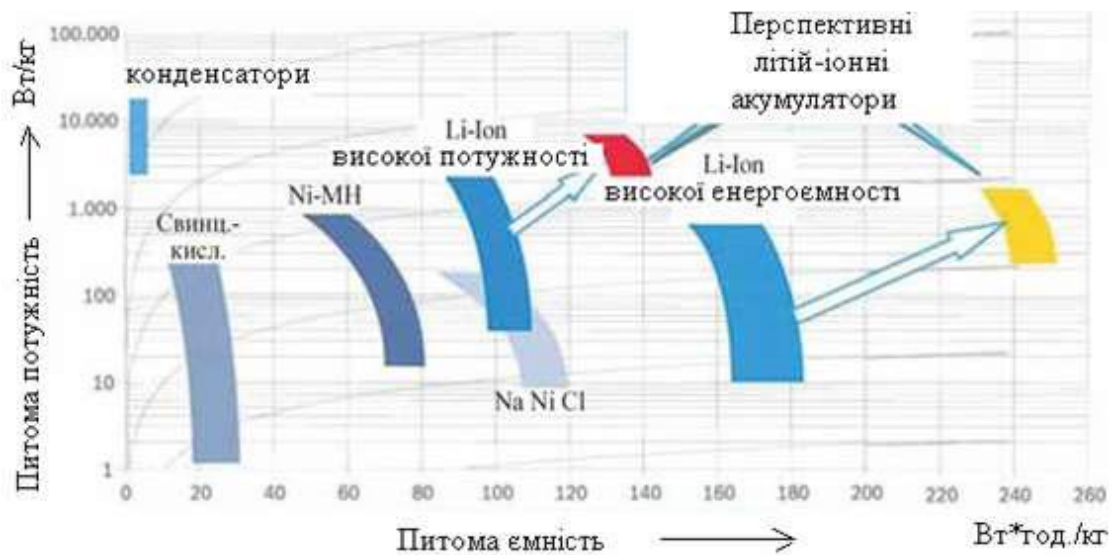


Рисунок 2.3 – Порівняльні характеристики акумуляторів та конденсаторів

Після проведеного аналізу ми прийшли до висновку, що для тягового акумулятора електромобіля ключовою характеристикою є швидка накопичувальна здатність. З усіх розглянутих типів акумуляторів ми віддаємо перевагу літій-іонній батареї.

Суперконденсатор (СК) - це, по суті, конденсатор великої ємності, значення якого є набагато вищим, ніж у звичайних конденсаторів, але з обмеженим діапазоном напруги. Вони можуть зберігати енергію в 10-100 разів більше на одиницю об'єму чи маси, ніж електролітичні конденсатори, можуть приймати та віддачу заряду значно швидше, ніж батареї, і мають більшу кількість життєвих циклів зарядки та розряду. Попит на суперконденсатори зростає щодня. Швидкий розвиток та популярність зумовлені численними перевагами суперконденсаторів порівняно з акумуляторами [7].

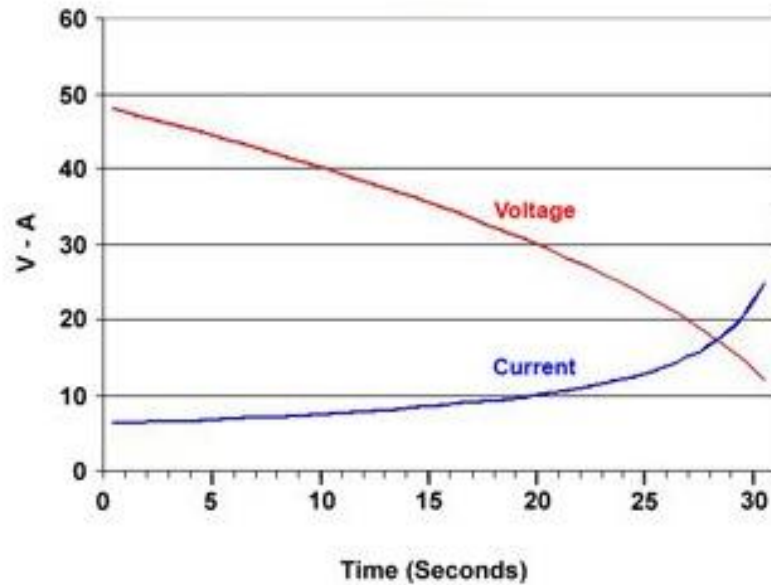
В першу чергу, важливо відзначити, що суперконденсатори (СК) вирізняються швидкістю заряджання. Літієві акумулятори не ефективно переносять струми порядку $1C$ (де C - ємність в $A \cdot год$), оскільки при таких струмах вони можуть перегріватися, швидко деградувати та навіть потенційно вибухнути. Це ускладнює швидке заряджання батареї менше, ніж за годину. Суперконденсатори, навпаки, можуть ефективно та швидко заряджатися, що робить їх привабливими для різних застосувань.

Другою важливою перевагою суперконденсаторів є їхня довговічність. Літієві акумулятори зазвичай мають обмежений термін служби приблизно 1000 циклів заряду/розряду перед втратою суттєвої ємності, тоді як суперконденсатори можуть витримувати навіть мільйон циклів без втрат. Це робить їх довговічними та відмінними для ситуацій, де потрібно велику кількість циклів.

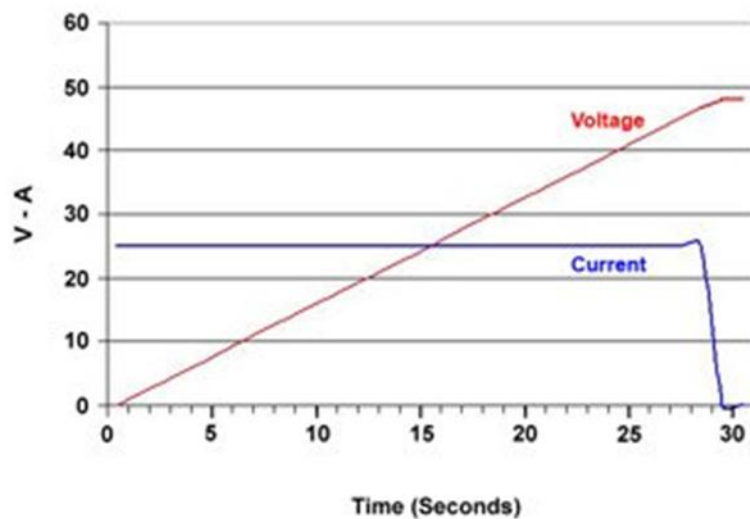
Суперконденсатори також мають перевагу у термінах токсичності та стійкості до температурних змін. Вони менше токсичні, і їхня ефективність мало залежить від температурних умов, у порівнянні з літієвими акумуляторами.

Незважаючи на переваги, суперконденсатори мають певні недоліки, основним із яких є низька питома ємність порівняно з акумуляторами. Це може обмежити їхню ефективність в деяких застосуваннях. Крім того, вартість суперконденсаторів є значною, в багато разів вищою, ніж вартість літієвих акумуляторів на одиницю енергії. Діапазон напруг суперконденсаторів також може становити виклик, оскільки вони розряджаються до нуля, вимагаючи використання стабілізатора напруги, що призводить до втрат частини енергії.

В електромобілях суперконденсатори зазвичай використовуються для генерації потужності під час розгону та швидкого накопичення енергії під час рекуперативного гальмування.



а) зарядки постійним струмом



б) розрядки постійною потужністю

Рисунок 2.4 – Характеристики зарядки (а) та розрядження (б) суперконденсатора.

На рис. 1.4 представлені характеристики струму та напруги під час заряджання та розряджання суперконденсатора[8]. При заряджанні напруга зростає лінійно, але струм просідає, коли суперконденсатор заряджається. Під час розряджання напруга також лінійно зменшується при чому фактично до повного розряду значення сили струму залишається незмінним.

1.2. Топології систем живлення електромобілів

Топологія системи живлення електромобілів - це структура та організація електричних компонентів, які забезпечують живлення та управління енергією в електромобілі. Основні компоненти системи включають акумулятор, інвертори, контролери зарядки, електромотори та інші пристрої, що регулюють передачу та розподіл електроенергії. Топологія може бути різноманітною залежно від конкретного дизайну та вимог електромобіля, але основні складові залишаються стандартними. Важливі аспекти включають ефективність, надійність та можливість управління різними режимами роботи для оптимізації енергоспоживання та динаміки руху електромобіля.

В цілому, акумулятори характеризуються високою питомою енергією в діапазоні 35–210 Вт/кг, тоді як суперконденсатори відрізняються меншою питомою енергією, але значно більшою питомою потужністю. Суперконденсатори також вирізняються великою кількістю циклів життя, що досягає близько одного мільйона, перевищуючи акумулятори в сотні разів. Крім того, суперконденсатори проявляють високу ефективність при низьких температурах у порівнянні з акумуляторами.

Пасивна топологія. Щодо гібридних топологій для зберігання енергії, розглянута пасивна топологія є найпростішим методом поєднання акумуляторів та суперконденсаторів [9]. У цій топології два джерела енергії гібридизуються без силових електронних перетворювачів. Основна топологія пасивного паралельного методу показана на рисунку 1.5. У цьому методі напруги двох джерел завжди рівні, оскільки вони завжди паралельні. Суперконденсатор фактично діє як фільтр низьких частот. Основна перевага цього методу полягає в його простоті та відсутності потреби в складних силових електронних перетворювачах. Однак основна проблема полягає в тому, що вона не здатна ефективно використовувати накопичену енергію суперконденсатора.

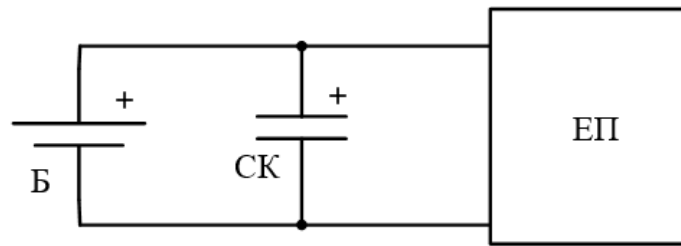


Рисунок 2.5 – Пасивна параллельна топологія.

Повністю активна топологія. У повністю активній топології, зображеній на рис. 1.6, акумулятори та суперконденсатори відокремлені від бортової електричної мережі за допомогою двох DC/DC перетворювачів[10]. Це дозволяє підтримувати напругу АКБ і СК на рівні, яке може бути нижчим за напругу електроприводу, що в свою чергу дозволяє ефективно використовувати накопичену енергію СК.

Однак у цій топології використано два dc/dc перетворювачі, що робить складним алгоритм управління. Крім того, це може призвести до зростання вартості та втрат ефективності системи в цілому. Така топологія вимагає вдосконалених алгоритмів керування для оптимізації енергоспоживання та забезпечення надійності роботи.

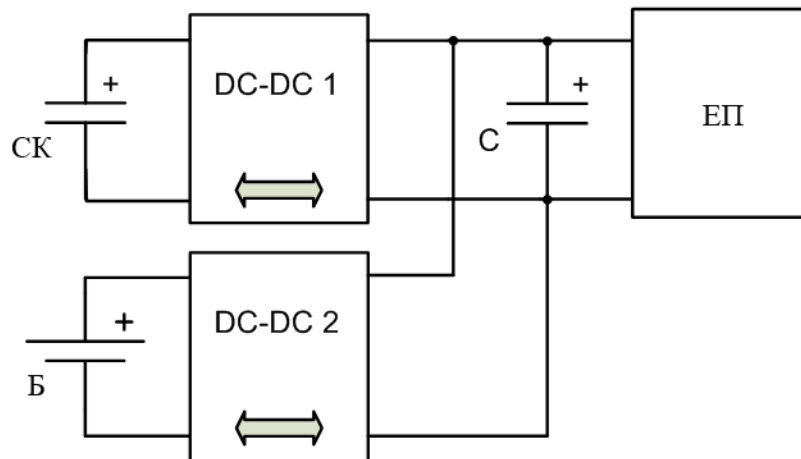


Рисунок 2.6 – Активна топологія.

Напівактивна топологія суперконденсатор/акумуляторна батарея. У напівактивній топології суперконденсатор/акумуляторна батарея використовується один двонаправлений DC/DC перетворювач між суперконденсатором та бортовою мережею (рис. 1.7), що дозволяє

використовувати суперконденсатор у широкому діапазоні напруг[11]. Акумуляторна батарея напряму підключена до електроприводу. У цій конфігурації суперконденсатор заряджається та розряджається в імпульсному режимі, що може призводити до зниження ефективності системи. Оскільки DC/DC перетворювач працює із суперконденсатором, він повинен мати велику потужність.

Ця топологія має певні переваги, такі як можливість ефективного використання суперконденсатора у широкому діапазоні напруг та пряме підключення акумуляторної батареї до електроприводу. Проте, її недоліком є менша ефективність через імпульсний режим роботи суперконденсатора та необхідність великого потужного DC/DC перетворювача.

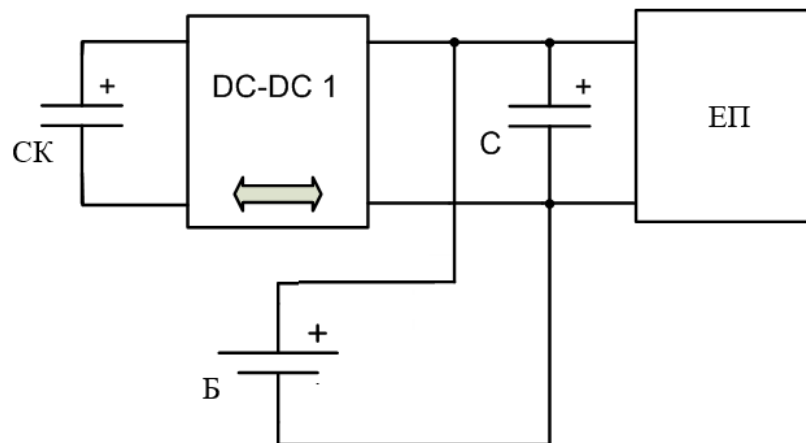


Рисунок 2.7 – Напівактивна топологія суперконденсатор/акумуляторна батарея.

Напівактивна топологія акумуляторна батарея/ суперконденсатор. У напівактивній топології акумуляторна батарея/суперконденсатор, яку показано на рис. 1.8, місцями обмінено акумуляторну батарею та суперконденсатор[12]. У цій конфігурації суперконденсатор фактично виконує роль фільтра низьких частот. Напруга на акумуляторній батареї може підтримуватися нижче або вище, ніж напруга на суперконденсаторі.

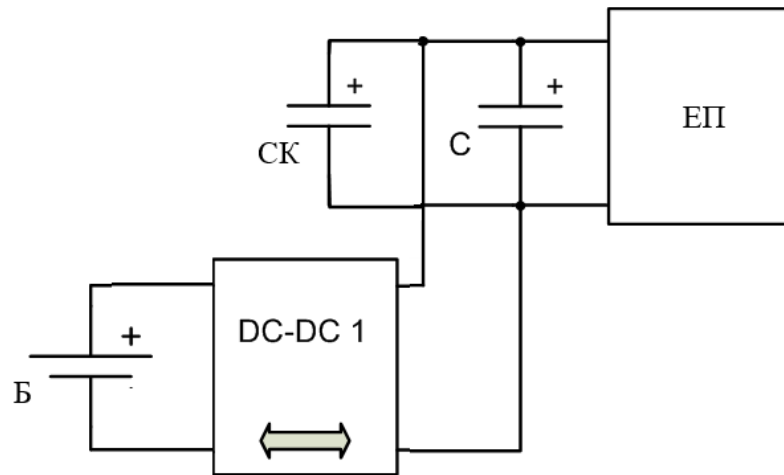


Рисунок 2.8 – Напівактивна топологія акумуляторна батарея/суперконденсатор.

Проте, існує проблема з необхідністю потужного перетворювача, що може збільшити вартість системи. Також, оскільки суперконденсатор безпосередньо підключений до бортової мережі, напруга може змінюватися, що може негативно впливати на роботу деяких двигунів та контролерів. Ця топологія вимагає удосконаленої системи керування та може стати витратною через необхідність потужного перетворювача.

3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТА РОЗРОБКА СХЕМИ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

■ Вихідні дані для розрахунку

Для базового автомобіля Renault Megane 3 маємо наступні вихідні дані для розрахунків бортової мережі та тягового електроприводу:

Маса автомобіля $m_a = 1274$ кг.

Маса електромобіля з батареєю $m_{ем} = 1,25m_a = 1592,5$ кг.

Тип шин 205/65R15.

Діаметр колеса $d_k = (15 \cdot 2,54 + 2 \cdot 20,5 \cdot 0,65)/100 = 0,6475$ м.

■ Розрахунок параметрів електроприводу

Зусилля на подолання опору кочення:

$$F_{оп.к.} = m_{ем} g k_{оп.к.} = 1592,5 \cdot 9,8 \cdot 0,015 = 234,1 \text{ Н,}$$

де $k_{оп.к.} = 0,015$ – коефіцієнт опору кочення;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Зусилля на подолання аеродинамічного опору:

$$F_{ад} = 0,5 \rho k_{ад} A_{\phi} \cdot \left(\frac{V_{сер}}{3,6} \right)^2 = 0,297 \cdot \left(\frac{50}{3,6} \right)^2 = 57,23 \text{ Н,}$$

де $\rho = 1,24 \text{ кг/м}^3$ – густина повітря;

$k_{ад} = 0,33$ – коефіцієнт аеродинамічного опору кузова автомобіля;

$A_{\phi} = 1,45 \text{ м}^2$ – фронтальна площа автомобіля;

$V_{сер} = 50 \text{ км/год}$ – середня швидкість електромобіля.

Максимальне прискорення дослідного автомобіля:

$$\alpha_{max} = \frac{V}{3,6 t_{розг}} = \frac{110}{3,6 \cdot 11} = 2,78 \text{ м/с}^2,$$

де $t_{розг} = 11 \text{ с}$ – час розгону до 100 км/год;

$V = 110 \text{ км/год}$ – розрахункова швидкість електромобіля.

Максимальне тягове зусилля знаходиться, як сума всіх вище розрахованих нами зусиль:

$$F_{max} = F_{оп.к.} + F_{ад} + m_{ем} \alpha_{max} = 234,1 + 57,23 + 1592,5 \cdot 2,78 = 4718,48 \text{ Н},$$

Максимальний момент електромобіля становить:

$$M_{max} = \frac{F_{max} r_k}{\eta_{тр} i_d} = \frac{4718,48 \cdot 0,32375}{0,92 \cdot 3,5} = 474,4 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

де $r_k = \frac{d_k}{2} = 0,32375 \text{ м}$ – радіус колеса;

$\eta_{тр} = 0,92$ – ККД трансмісії;

$i_d = 3,5$ – передаточне число диференціала.

Номінальний момент електромобіля становить:

$$M_H = \frac{M_{max}}{k_M} = \frac{474,4}{2,5} = 189,8 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

де $k_M = 2,5$ – коефіцієнт перевантаження по моменту.

Номінальна кутова швидкість:

$$\omega_H = \frac{V i_d}{3,6 r_k} = \frac{110 \cdot 3,5}{3,6 \cdot 0,32375} = 330,33 \text{ рад/с},$$

Номінальна потужність електромобіля є рівною:

$$P_H = M_H \cdot \omega_H = 189,8 \cdot 330,33 = 62,7 \text{ кВт}.$$

■ Математична модель тягового зусилля дослідного електромобіля

Сила прискорення $F_{пр}$, яка додається до тягового зусилля при режимах розгону або гальмування автомобіля, становитиме:

$$F_{пр} = m_{EV} a = m \frac{dV}{dt}.$$

Сумарне тягове зусилля, що використовується в комп'ютерній моделі, має такі складові елементи, як сила опору кочення, сила аеродинамічного

опору автомобіля та сила прискорення. Підставивши числові значення для нашого автомобіля, отримуємо

$$F_{\Sigma} = F_{\text{оп.к}} + F_{\text{ад}} + F_{\text{пр}} = 234,1 + 0,297 \left(\frac{V_{\text{сер}}}{3,6} \right)^2 + 1592,5 \cdot \frac{dV}{dt}. \quad (2.1)$$

Сумарна потужність, що буде використовуватись при комп'ютерному моделюванні, становитиме

$$P_{\Sigma} = (F_{\text{оп.к}} + F_{\text{ад}} + F_{\text{пр}}) \cdot V = 234,1 \cdot V + 0,297 \left(\frac{V_{\text{сер}}}{3,6} \right)^3 + 1592,5 \cdot V \frac{dV}{dt}. \quad (2.2)$$

■ Обчислення параметрів акумуляторної батареї при усереднених умовах руху дослідного електромобіля

В умовах руху при постійній середній швидкості $V_{\text{сер}} = 50$ км/год по дорозі без ухилів тягове зусилля електромобіля складатиметься із сили опору кочення дорожнього полотна $F_{\text{оп.к}}$ та сили аеродинамічного опору автомобіля $F_{\text{ад}}$:

$$F_{\text{ст}} = F_{\text{оп.к}} + F_{\text{ад}} = 234,1 + 57,23 = 291,33 \text{ Н.}$$

Потужність, що затратиметься дослідним автомобілем, коли він буде рухатись із усталеною швидкістю 50 км/год становитиме:

$$P_{\text{лх}} = (F_{\text{оп.к}} + F_{\text{ад}}) \cdot \frac{V_{\text{сер}}}{3,6} = 291,33 \cdot \frac{50}{3,6} = 4046,25 \text{ Вт.}$$

Затрачену потужність із врахуванням динамічних режимів роботи можна приблизно визначити, ввівши коефіцієнт $k_{\text{н}} = 2,5$:

$$P_{\text{дин}} = k_{\text{н}} P_{\text{лх}} = 2,5 \cdot 4046,25 = 10115,625 \text{ Вт.}$$

Час на подолання відстані $S = 100$ км з середньою швидкістю $V_{\text{сер}} = 50$ км/год:

$$t = \frac{S}{V_{\text{сер}}} = 2 \text{ год.}$$

Сумарний коефіцієнт корисної дії (ККД) тягової системи електроприводу становить:

$$\eta_{\Sigma} = \eta_m \eta_d \eta_{еп} = 0,91 \cdot 0,92 \cdot 0,93 = 0,79,$$

де $\eta_m = 0,91$ – ККД трансмісії;

$\eta_d = 0,93$ – ККД електродвигуна;

$\eta_{еп} = 0,93$ – ККД електроприводу.

Необхідна енергія для подолання електромобілем відстані 100 км зі швидкістю 50 км/год:

$$W_{\text{бат}} = P_{\text{дин}} \frac{t}{\eta_{\Sigma}} = 10115,625 \cdot \frac{2 \cdot 3600}{0,79} = 92193038 \text{ Дж.}$$

Ємність АКБ:

$$C_{\text{АКБ}} = \frac{DOD \cdot W_{\text{бат}}}{U_{\text{АКБ.н}}} = \frac{0,8 \cdot 92193038}{288 \cdot 3600} = 71,14 \text{ А} \cdot \text{год},$$

де $DOD = 0,8$ – (Depth Of Discharge) глибина розряду Li-ion АКБ;

$U_{\text{АКБ.н}} = 288 \text{ В}$ – номінальна напруга АКБ.

Вибираємо акумулятор LiFePO₄: $U_{\text{ел}} = 3,2 \text{ В}$; $C_{\text{ел}} = 2,7 \text{ А} \cdot \text{год}$ [13].

Кількість акумуляторів в одному модулі:

$$N_{\text{ел}} = \frac{U_{\text{АКБ.н}}}{U_{\text{ел}}} = \frac{288}{3,2} = 90 \text{ шт.}$$

Кількість акумуляторних модулів:

$$N_{\text{м}} = \frac{C_{\text{АКБ}}}{C_{\text{ел}}} = \frac{71,14}{2,7} = 27 \text{ шт.}$$

Загальна кількість акумуляторів:

$$N_{\text{бан}} = N_{\text{м}} \cdot N_{\text{ел}} = 27 \cdot 90 = 2430.$$

■ Розрахунок суперконденсаторного модуля

Розрахунок енергії, що затрачається для розгону при русі ухилом 5%.

Розрахуємо час розгону дослідного електромобіля до 20 км/год:

$$t_{\text{розг.5}} = \frac{20}{3,6 \cdot \alpha_{\text{max}}} = 2,0 \text{ с.}$$

Порахуємо шлях, що долає електромобіль за час розгону до 20 км/год:

$$S = \alpha_{\text{max}} \cdot \frac{t_{\text{розг.5}}^2}{2} = 5,56 \text{ м.}$$

Сила скочування, що діє при цьому на електромобіль:

$$F_{\text{ск}} = P \cdot \sin \alpha = m_{\text{ем}} \cdot g \cdot \sin \alpha = 1360,2 \text{ Н,}$$

де $\alpha = 5^\circ$ – кут ухилу.

Нормальна сила, що діє на електромобіль при русі вгору:

$$N = m_{\text{ем}} \cdot g \cdot \cos \alpha = 15547,1 \text{ Н.}$$

Сила прискорення при цьому становитиме:

$$F_{\text{пр}} = m_{\text{ем}} \cdot \alpha_{\text{max}} = 4427,15 \text{ Н.}$$

Сумарне тягове зусилля електромобіля буде рівним:

$$F_{\Sigma} = F_{\text{оп.к}} + F_{\text{ск}} + F_{\text{пр}} = 6021,45 \text{ Н.}$$

Розрахунок енергії, яку потрібно взяти з суперконденсаторів для забезпечення необхідної динаміки розгону при русі під ухилом 5%:

$$W_{\text{пот}} = F_{\Sigma} \cdot S = 33479,26 \text{ Дж.}$$

Розрахунок енергії при гальмуванні.

При розрахунку енергії, виділеної при гальмуванні, отримаємо:

$$\Delta W = \frac{m_{\text{ем}}}{2} \cdot \left[\left(\frac{V_{\text{поч}}}{3,6} \right)^2 - \left(\frac{V_{\text{кін}}}{3,6} \right)^2 \right] = 589815 \text{ Дж,}$$

де $V_{\text{поч}} = 100$ км/год – швидкість з якої електромобіль починає гальмування;

$V_{\text{кін}} = 20$ км/год – швидкість до якої дослідний електромобіль гальмуватиме.

З отриманих значень бачимо, що енергія яку отримає СК під час гальмування зі 100 км/год до 20 км/год перевищує ту, яку він затрататиме на розгін із 0 до 20 км/год. Тому це значення енергії ми використовуємо для визначення ємності СКМ.

Оскільки напруга U_1 одного СК фірми Maxwell дорівнює 2,7 В [14], порахуємо необхідну кількість СК:

$$n = \frac{U_{\text{СКМ.н}}}{U_1} = \frac{380}{2,7} = 141 \text{ шт.},$$

де $U_{\text{СКМ.н}} = 380$ В – номінальна напруга СКМ.

Енергія модуля з n послідовно з'єднаних СК та k паралельних гілок:

$$W_{\text{СК}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_1}{n} \cdot k \cdot (n \cdot U_1)^2.$$

Кількість енергії, яка повинна зберегтись після гальмування в СК:

$$\Delta W_{\text{СК}} = 0,375 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{C_1}{n} \cdot k \cdot (n \cdot U_1)^2,$$

де 0,375 – це коефіцієнт, що відтворює доступну частину енергії СКМ.

Розрахуємо кількість гілок вважаючи що $C_{\text{СК}} = 3000$ Ф:

$$k = \frac{2 \cdot \Delta W_{\text{СК}}}{0,375 \cdot C_1 \cdot n \cdot U_1^2} = 0,92.$$

Ємність батареї СКМ:

$$C_{\text{СКМ}} = \frac{C_{\text{СК}}}{n} = 23,07 \text{ Ф.}$$

■ Запропонована структура електричної системи

Для продовження терміну служби акумуляторних батарей, СКМ пропонуємо підключення їх безпосередньо до кола постійного струму, щоб можна було ізолювати АКБ від постачання максимальної потужності та

прямого заряджання. У гібридній системі збереження енергії використовується двосторонній DC–DC перетворювач, який має режими пониження та підвищення, і завжди розглядається ефективність перетворення в різних режимах як найважливіший фактор. Однак, оскільки втрати енергії неможливо уникнути як у режимі пониження, так і в режимі підвищення, для підвищення ефективності всієї системи СКМ та АКБ, якщо це можливо, повинні забезпечити живлення безпосередньо без використання DC–DC перетворювача.

Виходячи з обговорення вище, досліджується гібридна система накопичення енергії з багаторежимним типом роботи. Принципова схема цієї системи представлена на рис. 2.1. Основною відмінністю багаторежимної гібридної системи накопичення енергії є те, що N–MOSFET (VT1) підключений до СКМ, тоді як P–MOSFET (VT2) з'єднаний з АКБ. Крім того, обидва джерела енергії безпосередньо з'єднані з кожним з двох кінців двонаправленого DC–DC перетворювача відповідно. Діод живлення (VD6) використовується для уникнення прямого заряджання АКБ. Крім того, VT1 та VT2 перемикаються за однаковим сигналом. У цій топології СКМ може забезпечити максимальну потужність безпосередньо до інвертора, коли VT1 увімкнено (VT2 вимкнено). АКБ постачають енергію через DC–DC перетворювач лише тоді, коли VT1 увімкнено. Таким чином, досягається мета ізолювати АКБ від постачання максимальної потужності. У випадку, коли потужність інвертора не настільки висока, VT2 увімкнено (VT1 вимкнено), і АКБ постачають енергію безпосередньо до інвертора, щоб зменшити втрати енергії від DC–DC перетворювача.

Для підвищення ефективності гібридної системи зберігання енергії, необхідно належним чином розробити DC–DC перетворювач. Оскільки цей перетворювач може збільшити або зменшити напругу акумуляторних батарей (В), конфігурація DC–DC перетворювача реалізована відповідно до показаного на рис. 2.2.

Номінальна напруга АКБ складає 288 В, а ефективний робочий діапазон напруги АКБ варіюється від 252 В до 324 В. З іншого боку, ефективний робочий діапазон напруги інвертора становить від 190 В до 380 В. З урахуванням конфігурації суперконденсаторного модуля, пікова напруга СКМ розрахована як 380 В.

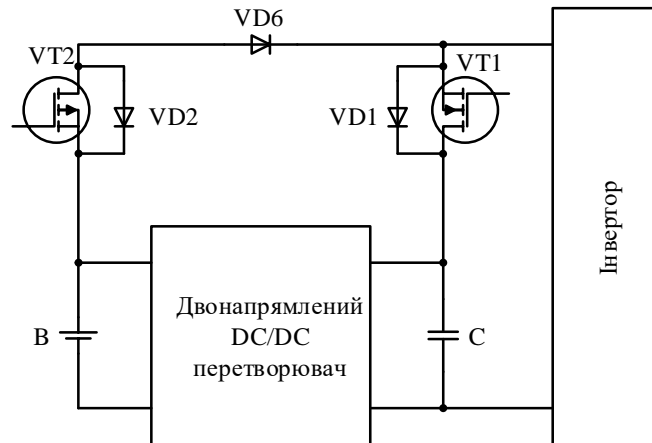


Рисунок 3.1 – Принципова схема багаторежимної гібридної акумуляторно-суперконденсаторної системи живлення електромобіля

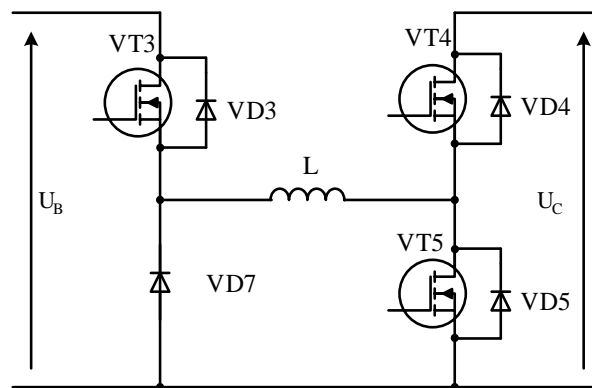
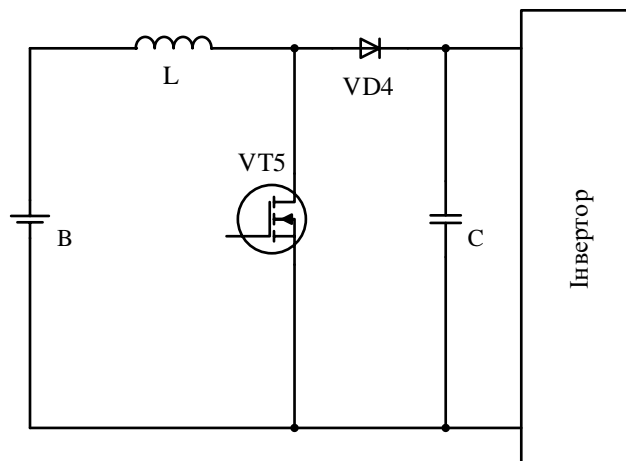


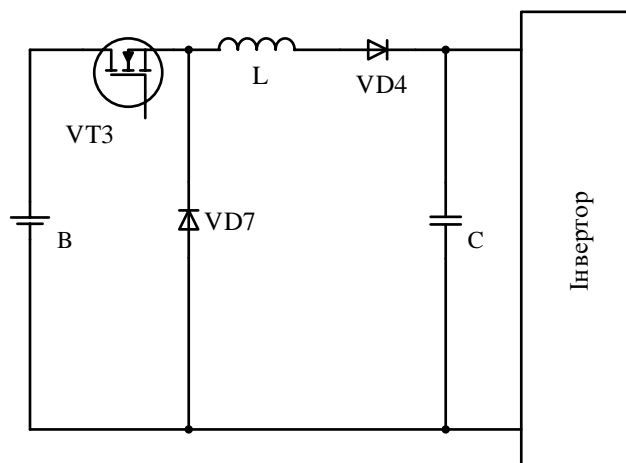
Рисунок 3.2 – Вигляд DC–DC перетворювача

В даній конфігурації DC–DC перетворювач може перенаправити напругу до СКМ для заряджання АКБ, забезпечуючи безпеку АКБ під час рекуперації. На основі цього дизайну пропонуються чотири схеми роботи (рис. 2.3): а) схема підвищення напруги АКБ; б) схема пониження напруги АКБ; в) схема пониження напруги СКМ; г) схема рекупераційного гальмування, як показано на рис. 2.3.

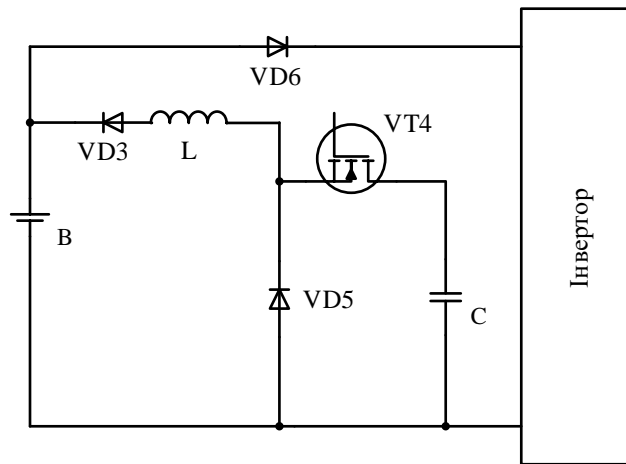
З метою уникнення пошкоджень АКБ, СКМ призначені для забезпечення живлення безпосередньо до інвертора у випадку необхідності максимального живлення. Таким чином, схеми на рис. 2.3, а) та рис. 2.3, б) використовуються для досягнення пікової потужності. З іншого боку, при низькому попиті на електроенергію може статися незначне пошкодження АКБ, тому схема на рис. 2.3, в) призначена для задоволення потреб у низькій потужності.



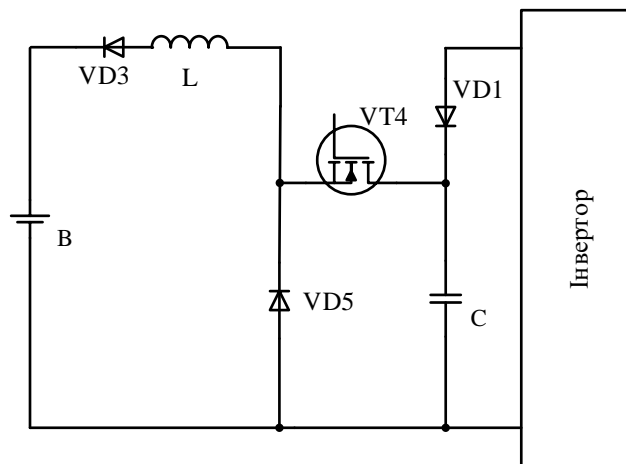
а) схема підвищення напруги АКБ



б) схема пониження напруги акумулятора



в) схема пониження напруги СКМ



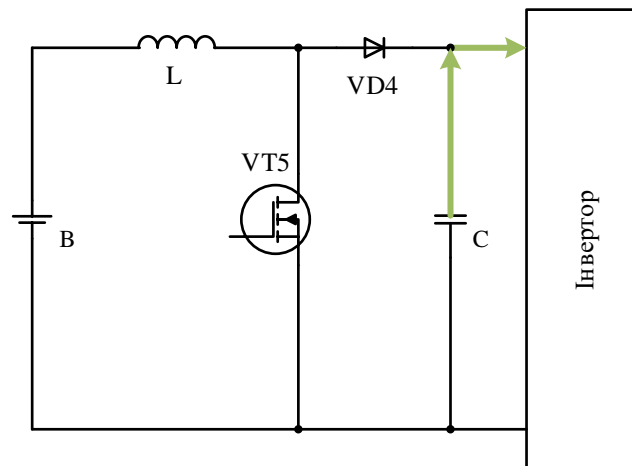
г) схема рекупераційного гальмування

Рисунок 3.3 – Схеми роботи дослідної системи

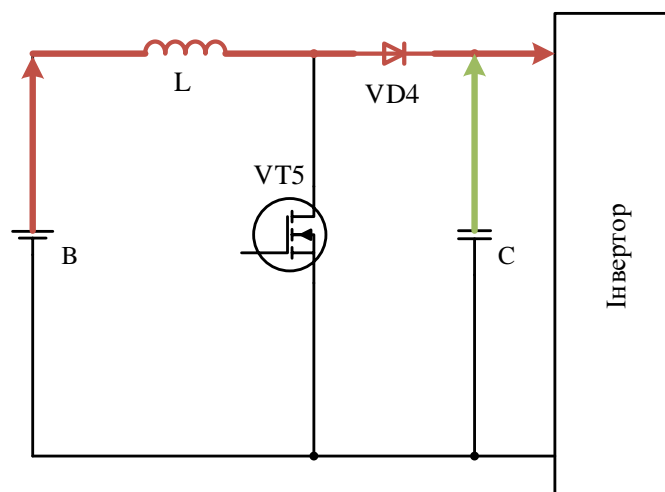
Загальна ефективність системи може бути підвищена, оскільки АКБ працюють окремо. У цій схемі СКМ повинні забезпечити живлення DC–DC перетворювачу лише тоді, коли рівень заряду АКБ нижче певного значення, наприклад, 0.1. Схема на рис. 2.3, г) використовується для поглиблення енергії рекупераційного гальмування. У цій схемі СКМ мають найвищий пріоритет для обробки енергії, а DC–DC перетворювач понижує напругу СКМ для перезарядження батарей.

Режими роботи дослідної системи

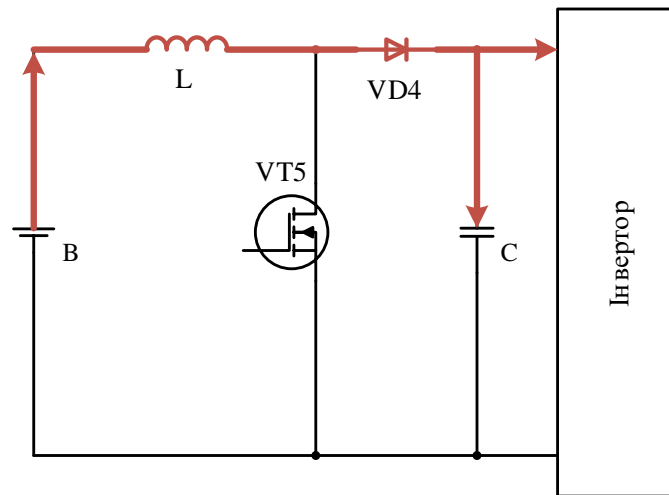
Схема підвищення напруги акумуляторних батарей (АКБ) включає три режими роботи. У цій схемі напруга СКМ вища, ніж напруга АКБ, і для керування VD1 увімкнений, а VD2 вимкнений, використовується висока напруга. Коли DC–DC перетворювач не працює, реалізований режим чистого живлення СКМ. У випадку, коли DC–DC перетворювач працює в режимі підвищення під час розрядження СКМ, реалізований режим гібридного живлення I. Навпаки, коли DC–DC працює в режимі підвищення з перезарядженням СКМ – реалізований режим перезарядження СКМ I. Енергетичні потоки трьох режимів показані на рис. 2.4. а) – в) відповідно.



а) режим чистого СКМ;



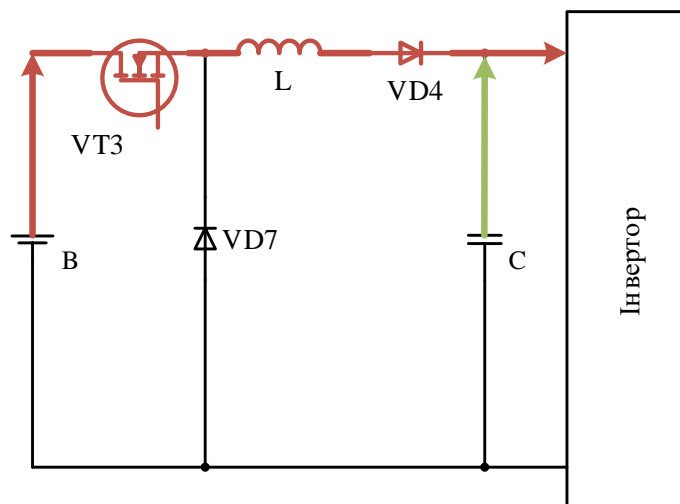
б) режим гібридного живлення I;



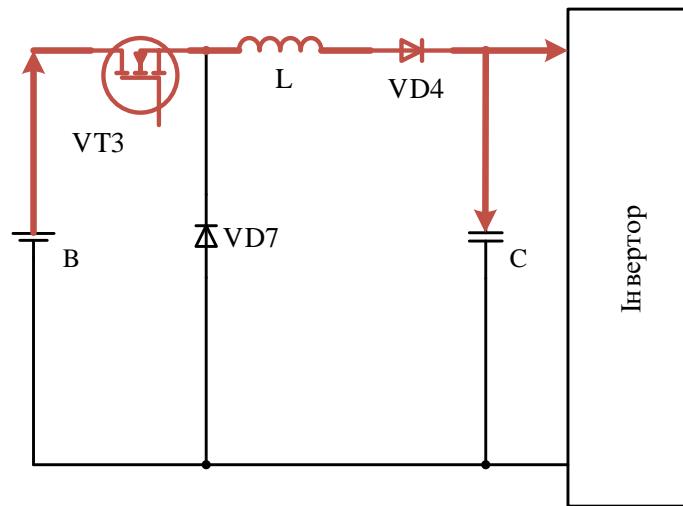
в) режим перезарядження СКМ I.

Рисунок 3.4 – Режими роботи в схемі підвищення напруги АКБ

Схема пониження напруги акумуляторних батарей функціонує у двох режимах. У цій схемі напруга суперконденсаторного модуля нижче, ніж напруга АКБ. Коли VT1 увімкнений, а VT2 вимкнений, DC–DC перетворювач працює в режимі пониження. На рис. 2.5 а) та б) показані енергетичні потоки для режиму гібридного живлення II та режиму перезарядження СКМ II в схемі, відповідно пониження напруги акумуляторів.



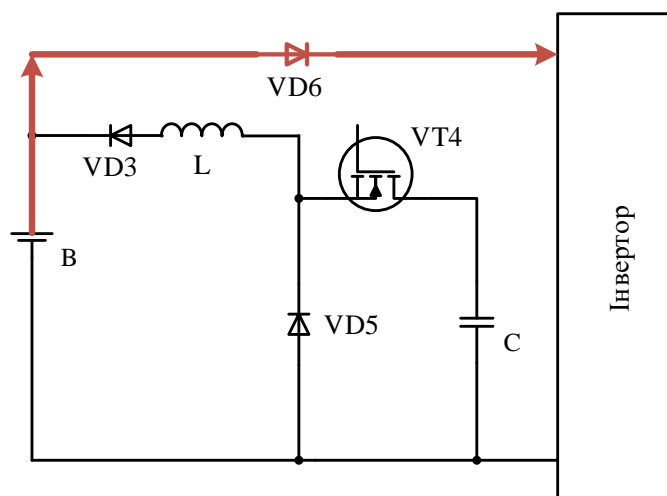
а) режим гібридного живлення II;



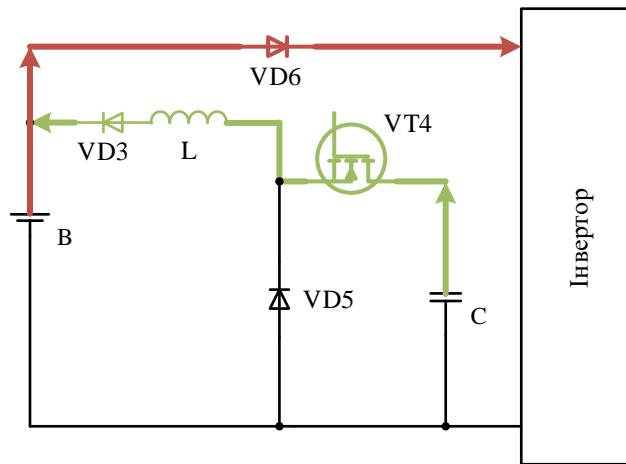
б) режим перезарядження СКМ II.

Рисунок 3.5 – Режимми роботи в схемі пониження напруги АКБ

Схема пониження напруги. Суперконденсаторний модуль також має два режими роботи. У цій схемі напруга СКМ вище, ніж напруга акумуляторних батарей. Коли VT1 вимкнений, а VT2 увімкнений, АКБ постачають живлення безпосередньо до моторного перетворювача. На рис. 2.6 а) та б) показані потоки енергії для режиму чистої АКБ та режиму гібридного живлення III. У режимі гібридного живлення III, DC–DC перетворювач працює в режимі пониження, і цей режим використовується лише тоді, коли рівень заряду батареї (SOC) менше 0,1.

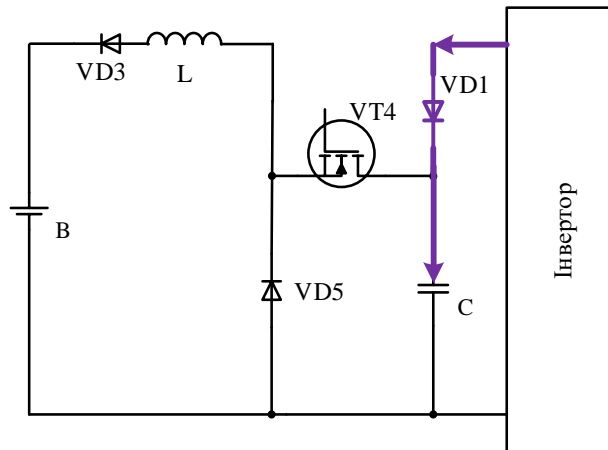


а) режим чистої роботи від АКБ;

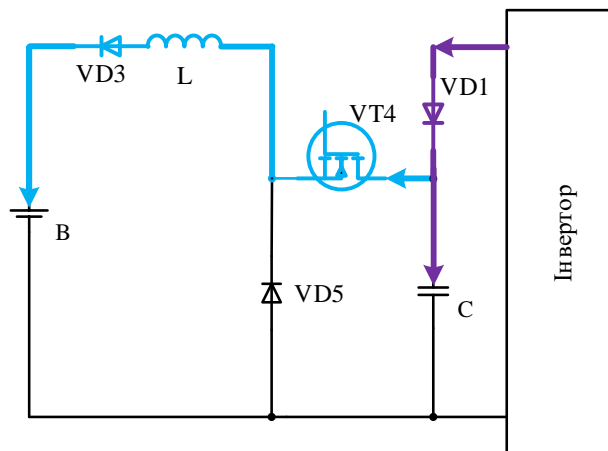


б) режим гібридного живлення ІІІ.

Рисунок 3.6 – Режимы работы в схеме понижения напруги СКМ



а) режим чистої рекуперації СКМ;



б) режим гібридної рекуперації.

Рисунок 3.7 – Режимы работы під час рекупераційного гальмування

Схема рекупераційного гальмування призначена для надання найвищого пріоритету у переробці енергії гальмування. На рис. 2.7 а) та б) показані енергетичні потоки для двох режимів. У цій схемі VT1 вимкнений, і важливо відзначити, що через VT2 немає потоку енергії, оскільки діод живлення VD3 встановлений в зворотньому напрямку, щоб уникнути безпосереднього заряджання АКБ, як показано на рис. 2.7.б. Система гібридного накопичення енергії зазвичай працює в режимі чистого живлення СКМ. Режим гібридного рекупераційного гальмування активується лише тоді, коли напруга СКМ перевищує верхню межу. Цей режим повинен використовуватися якнайменше для збільшення терміну служби акумулятора.

■ Стратегія керування енергією

З рис. 2.8 видно, що вхідними сигналами є потужність, необхідна для двигуна ($P_{\text{двигуна}}$), напруга акумуляторних батарей та напруга СКМ. Під час управління електричним транспортним засобом потужність двигуна ($P_{\text{двигуна}}$) розраховується за допомогою формули (2.1), де $P_{\text{двигуна}}$ - потужність, необхідна для управління електричним транспортним засобом, $\eta_{\text{двигуна}}$ - ефективність двигуна, $\eta_{\text{інвертора}}$ - ефективність інвертора, F_{drive} - сила приводу, яка є сумою сил опору кочення, сили аеродинамічного опору, гальмівної сили, v_{ev} - швидкість електричного транспортного засобу, η_{gb} - ефективність коробки передач.

$$P_{\text{двигуна}} = P_{\text{drive}} / \eta_{\text{двигуна}} \eta_{\text{інвертора}} \quad (2.1)$$

$$P_{\text{drive}} = F_{\text{drive}} v_{ev} / \eta_{gb} \quad (2.2)$$

Стратегія керування визначається правилами, які є простим, але ефективним методом, розробленим на основі теорії або досвіду проектування та широко використовується для визначення режимів роботи електричних транспортних засобів. Вибір режиму та конкретні правила керування для багаторежимної гібридної системи збереження енергії показані на рис. 2.9.

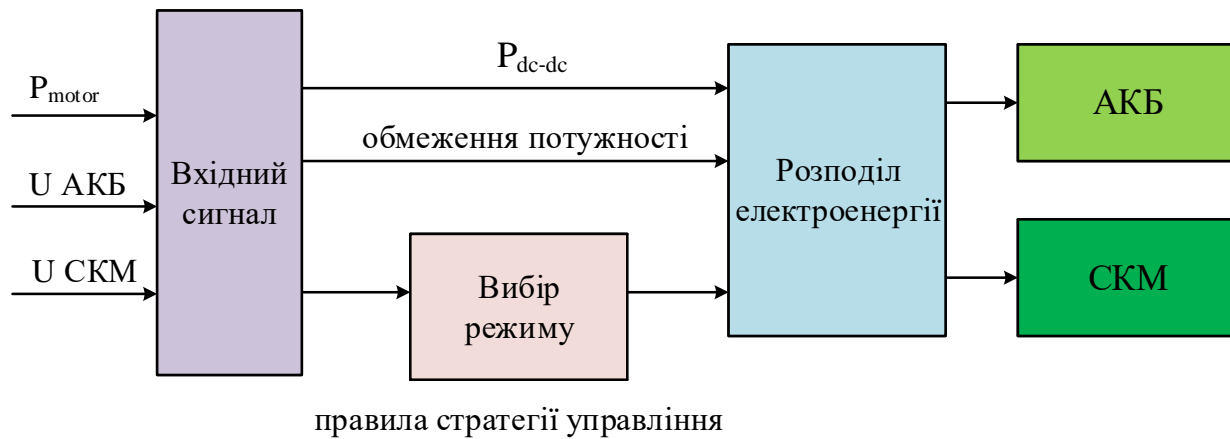


Рисунок 3.8 – Структурна схема системи енергетичного менеджменту

Щоб забезпечити максимальне поглиблення енергії СКМ та мінімізацію використання режиму гібридного рекупераційного гальмування, необхідно використовувати режим чистого СКМ, якщо потужність двигуна ($P_{\text{двигуна}}$) більше 0 та напруга СКМ ($V_{\text{СКМ}}$) більше 361 В.

У випадку, коли напруга акумуляторних батарей ($V_{\text{АКБ}}$) менше 300 В та $V_{\text{СКМ}}$ менше 323 В, і $P_{\text{двигуна}}$ більше 0, DC–DC перетворювач працює на максимальній ефективності за схемою підвищення напруги акумуляторів. Якщо $P_{\text{двигуна}}$ більше $P_{\text{DC-DC}}$, вибирається режим гібридного живлення I; в іншому випадку вибирається режим перезарядження СКМ I.

У випадку, коли $V_{\text{СКМ}}$ менше $V_{\text{АКБ}}$, $P_{\text{двигуна}}$ більше 0, DC–DC перетворювач працює на максимальній ефективності за схемою пониження напруги акумуляторів. Якщо $P_{\text{двигуна}}$ більше $P_{\text{DC-DC}}$, вибирається режим гібридного живлення II або режим перезарядження СКМ II.

Коли $323 \leq V_{\text{СКМ}} \leq 361$, $P_{\text{двигуна}}$ більше 0, і $V_{\text{АКБ}}$ більше 300 В, обирається режим чистої АКБ, якщо потреба в електроенергії від інвертора менша, ніж верхня межа батарей $P_{\text{max1АКБ}}$; в іншому випадку обирається режим гібридного живлення I.

Коли рівень заряду акумуляторних батарей (SOC) менше 0.1 та потужність двигуна ($P_{\text{двигуна}}$) більше 0, необхідно обмежити вихідну потужність акумуляторних батарей. У цьому випадку буде використана схема пониження напруги СКМ, а режим чистої АКБ буде вибрано, якщо вибрано

$P_{\text{ліміт АКБ}} > P_{\text{двигуна}}$ або режим перезарядження СКМ III. Слід зауважити, що коли SOC АКБ менше 0,1, режим перезарядження СКМ III недоступний, оскільки напруга СКМ є вищою, ніж у АКБ.

Коли SOC АКБ менше 0,1, вихідна потужність гібридної системи збереження енергії обмежена. Це визначається як режим зменшеної потужності. Режим зменшеної потужності має використовуватися якнайменше для збільшення терміну служби АКБ, і в цьому режимі водій повинен керувати автомобілем до найближчої станції заряджання електричного транспортного засобу.

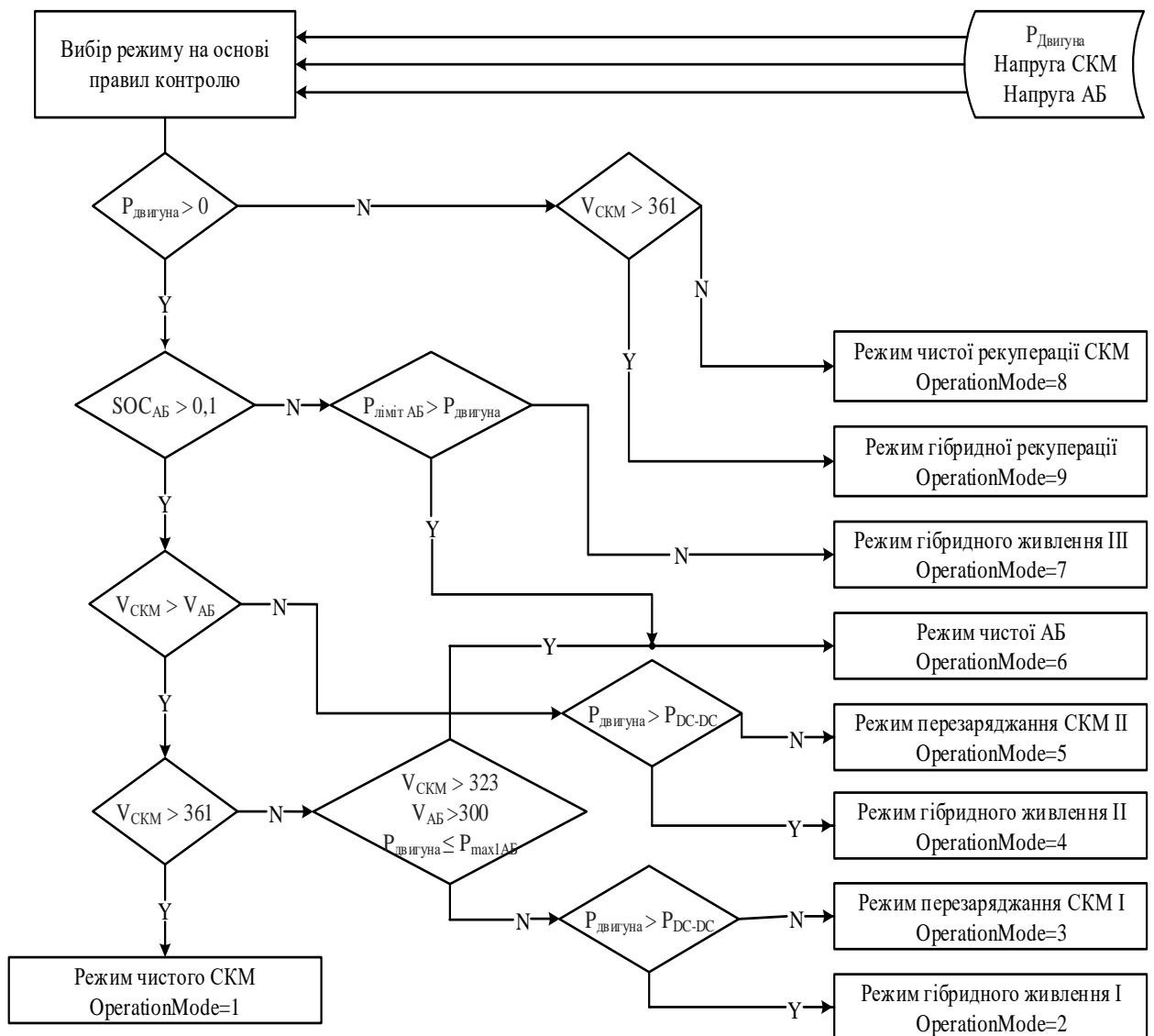


Рисунок 3.9 – Правила вибору режиму роботи

Коли потужність двигуна ($P_{\text{двигуна}}$) менше 0, використовується схема рекупераційного гальмування. У цій схемі завжди вибирається режим чистої рекуперації СКМ, а якщо напруга СКМ ($V_{\text{СКМ}}$) менше 361, то вибирається режим гібридної рекуперації енергії. У режимі гібридної рекуперації DC–DC перетворювач завжди працює в режимі пониження напруги, щоб забезпечити безпеку акумуляторних батарей. Режим гібридної рекуперації повинен використовуватися якнайменше для того, щоб збільшити термін служби АКБ.

4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИМУЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

■ Моделі транспортного циклу руху електромобіля та споживаної електричної потужності

Запас ходу електромобіля є важливим показником, залежним від різних факторів, таких як вид електроприводу, бортова мережа, цикл руху та режим їзди. Наприклад, для Nissan Leaf запас ходу визначається різними циклами тестування, такими як американський UDDS (Environmental Protection Agency - EPA Urban Dynamometer Driving Schedule), європейський NEDC (New European Driving Cycle) і японський Japanese 25.01 Mode Driving Schedule.

У даному контексті для України використовується середнє значення запасу ходу між європейським і американським вимірювальними циклами. Вибір зроблено на користь американського циклу UDDS для тестування запасу ходу електромобіля. Цей цикл, розроблений Environmental Protection Agency у 1997 році і вдосконалений у 2008 році, вирізняється тривалістю тестування - 32 хвилини та дальністю пробігу 18,8 км у порівнянні з європейським і японським циклами.

Основна важливість циклу UDDS полягає в тому, що він охоплює найбільший час тестування та включає 22 зупинки з подальшим розгоном. Хоча час стоянки в цьому циклі є найменшим, приблизно 20% від загальної тривалості циклу, його використання робить його значущим для визначення запасу ходу електромобіля.

Максимальна швидкість у циклі становить 57,2 миль/год, а середня швидкість під час циклу UDDS досягає 35 миль/год. Цей вимірювальний цикл є більш реалістичним порівняно з іншими аналогами, оскільки він враховує швидку їзду, велику кількість зупинок та динамічний розгін, що важко навантажує електропривід та бортову систему живлення електромобіля.

На рис. 3.1 представлений американський вимірювальний цикл Environmental Protection Agency Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS).

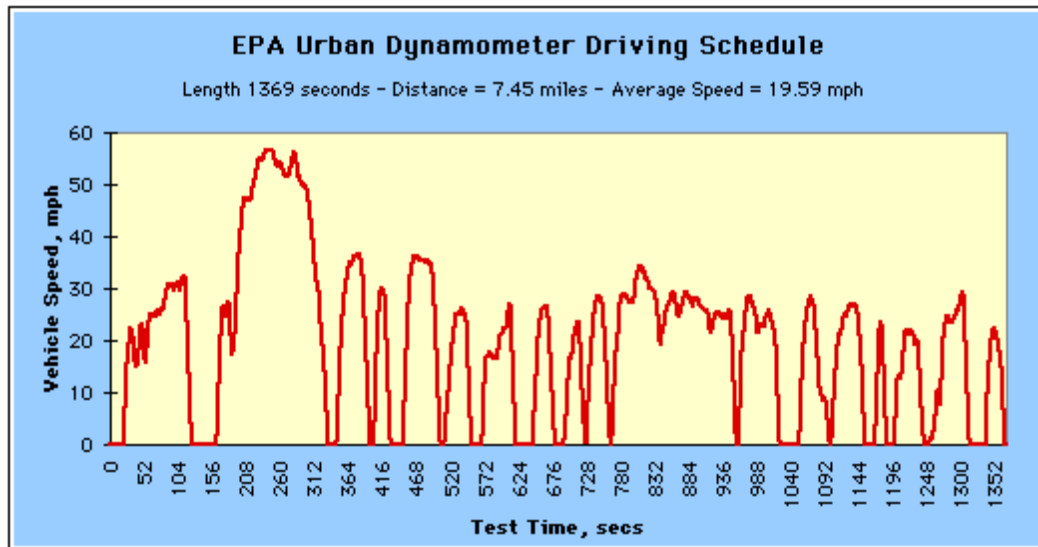


Рисунок 4.1 – Американський вимірювальний цикл Environmental Protection Agency Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS) [17]

Для моделювання електричної потужності, що споживається електроприводом в залежності від циклу руху електромобіля, використовується підсистема Cycle. Ця підсистема використовує табличні значення циклу UDDS, які відображені на рисунку 3.3.

Табличні значення циклу UDDS записані в блоку UDDS. Блок Converter конвертує милі/год в м/с.

Загальна потужність обчислюється в блоку F_{cn} за формулою (2.1). Для цього використовується прискорення, яке вираховується в блоку Transport Delay із затримкою сигналу швидкості на 1 с.

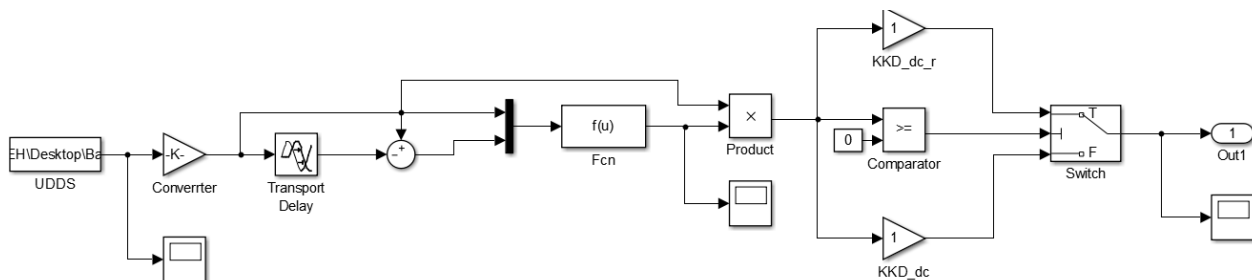


Рисунок 4.2 – Підсистема Cycle

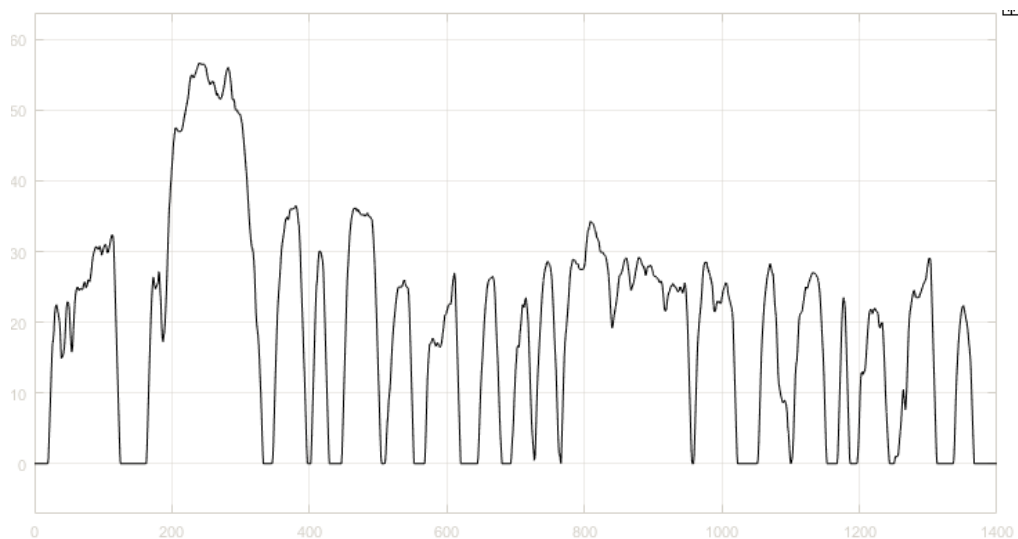


Рисунок 4.3 – Реалізація у Matlab американського вимірювального циклу - Environmental Protection Agency UDDS

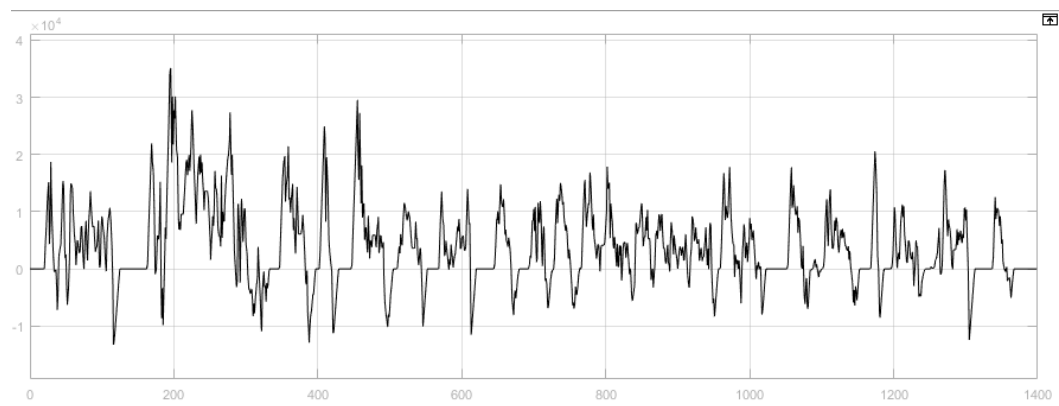


Рисунок 4.4 – Електрична потужність, споживана електроприводом протягом вимірюваного циклу

На основі наведеної схеми та результатів моделювання циклу руху електромобіля за американським вимірювальним циклом UDDS у MATLAB Simulink вже проведено розрахунки потужності для різних режимів та умов руху електромобіля.

Нами отримано інформацію про миттєві значення поточної потужності системи електроприводу на виході підсистеми (рис. 3.4), яка враховує ефективність різних компонентів системи, зокрема DC/DC перетворювача.

Далі планується моделювання частини транспортного циклу для проведення додаткових аналізів та вивчення різних режимів роботи електричної схеми живлення електромобіля.

Опис комп'ютерної моделі запропонованої гібридної системи живлення електромобіля

Створено комп'ютерну модель багаторежимної гібридної акумуляторно-суперконденсаторної системи енергопостачання електромобіля (рис. 3.5). Ключовими складовими елементами цієї комп'ютерної моделі є: акумуляторна батарея (АКБ) В; суперконденсатори (СКМ) SC; двосторонній DC–DC перетворювач Subsystem DC–DC, до якого підключені два джерела живлення; ключі VT1 і VT2, підключені відповідно до SC та В; підсистеми Subsystem control rules та Subsystem Modes; система тягового електроприводу, що моделюється керованим джерелом струму Controlled Current Source. Підсистема Cycle визначає залежність струму від часу для електроприводу електромобіля. Однак, відзначається особливістю те, що VT1 з'єднаний з СКМ, а VT2 - з АКБ. Також, два джерела енергії прямо підключені до кожного кінця двостороннього DC–DC перетворювача. Діод живлення (VD6) застосовується для уникнення прямого заряджання АКБ. VT1 та VT2 керуються однаковим електричним сигналом. У такій конфігурації СКМ може надавати пікову потужність безпосередньо на електропривід, коли VT1 увімкнено (VT2 вимкнено). АКБ постачає енергію за допомогою DC–DC перетворювача лише тоді, коли VT1 увімкнено. Таким чином, досягається ізоляція АКБ від постачання пікової потужності.

Підсистема Subsystem control rules. Підсистема керування правилами (рис. 3.6) розроблена для визначення режиму живлення електромобіля і виконана відповідно до правил, представлених на рис. 2.9. У середині блоку Switch1, якщо умова $P_d > 0$ не виконується, передається значення U_{sk} з першого (верхнього) входу, і виконується оцінка, чи $U_{sk} > 361$. Якщо це вірно, вмикається режим 9; в іншому випадку - режим 8.

Якщо $P_d > 0$, то значення SOC_b передається на вихід блоку Switch10. Обчислюється нерівність $SOC_b > 0,1$. Якщо це не вірно, перевіряється, чи $P_{limitb} > P_d$. Залежно від результату вмикається режим 7 або 6.

У випадку, коли $SOC_b > 0,1$, значення напруги СКМ U_{sk} через блок Switch12 порівнюється зі значенням напруги АКБ U_b . Якщо це не виконується, перевіряється, чи $P_{dc} > P_d$. Залежно від результату вмикається режим 4 або 5.

Якщо $V_{SK} > V_b$, тоді перевіряється, чи $V_{SK} > 361$. Якщо це вірно, вмикається режим 1; в іншому випадку перевіряються умови $V_{SK} > 323$, $V_b > 300$, $P_d \leq P_{max1b}$. Якщо ці умови виконуються, вмикається режим 6; в іншому випадку перевіряється, чи $P_{dc} > P_d$. Залежно від результату вмикається режим 2 або 3.

Блоки OR, AND, NOT та порівняння з числом 0,01 використовуються для активації лише одного режиму та уникнення частого перемикання між режимами.

Результатом функціонування підсистеми є визначення номера режиму (Mode number) та введення команди для активації конкретного режиму, що визначається на основі вхідних даних підсистеми. На обраний режим подається логічна одиниця, якщо він має бути активований, тоді як на всі інші режими подається логічний нуль.

Підсистема "Subsystem Modes" (рис. 3.7) моделює різні режими роботи гібридної акумуляторно-суперконденсаторної системи енергозбереження. Залежно від обраного режиму з "Subsystem Control Rules" подається сигнал для активації відповідного режиму в "Subsystem Mode".

У "Subsystem Mode 1" – "Subsystem Mode 9" реалізований принцип роботи транзисторів відповідно до режиму роботи системи бортового живлення електромобіля (рис. 3.8). Логічна одиниця подається як вхідний сигнал для активації або вимкнення транзистора при використанні ШІМ.

Підсистема "Subsystem DC–DC" (рис. 3.10) побудована на основі DC–DC перетворювача, конфігурацію якого можна побачити на рис. 3.2. Робота DC–DC перетворювача моделюється на основі різних режимів (рис. 3.4 – рис. 3.7). Якщо транзистор увімкнено, йому присвоюється значення "1", вимкнено – "0". У разі використання транзистора під ШІМ – "Ш" (див. табл. 3.1).

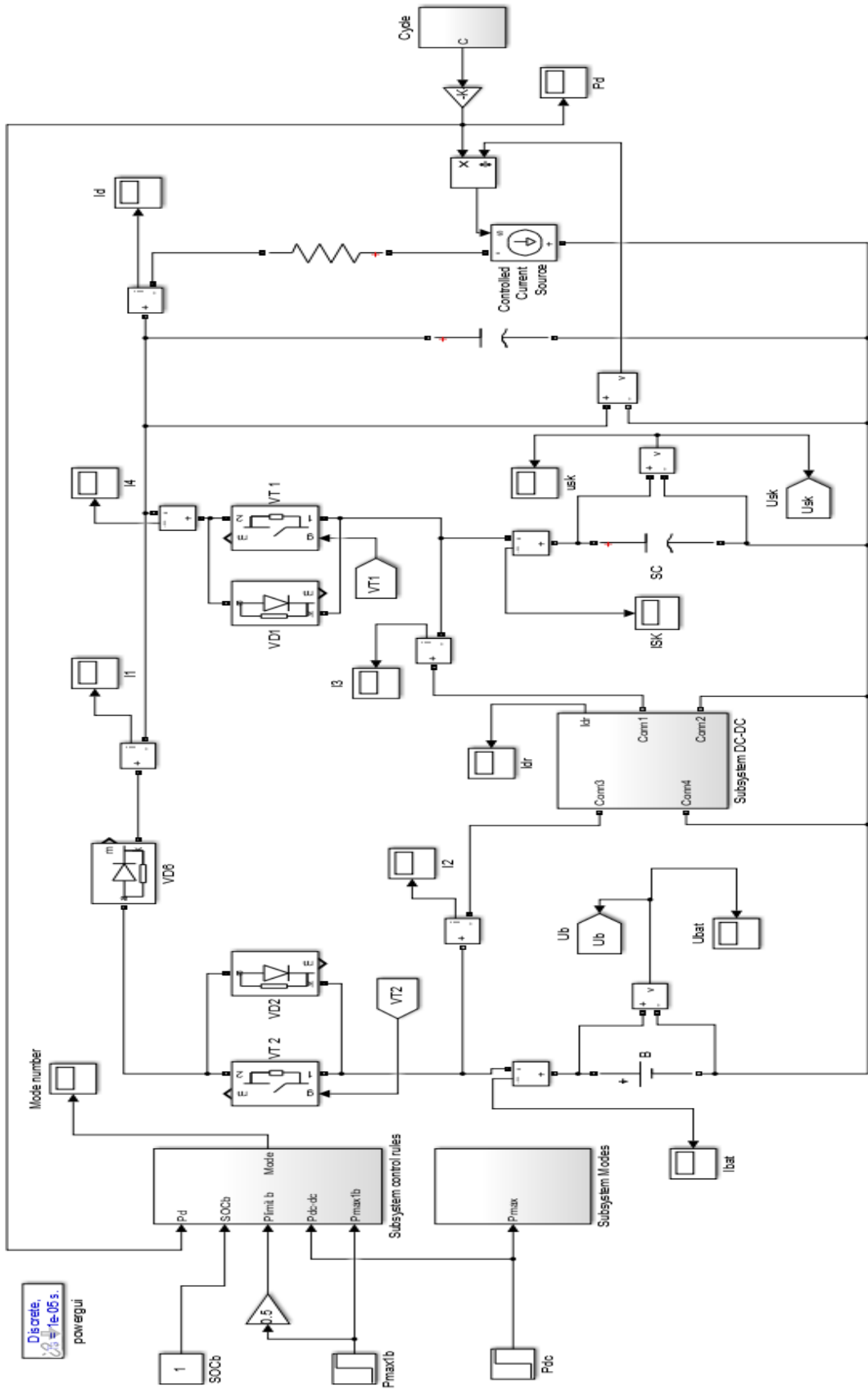


Рисунок 4.5 – Комп'ютерна модель багаторежимної гібридної системи енергетичного живлення електромобіля

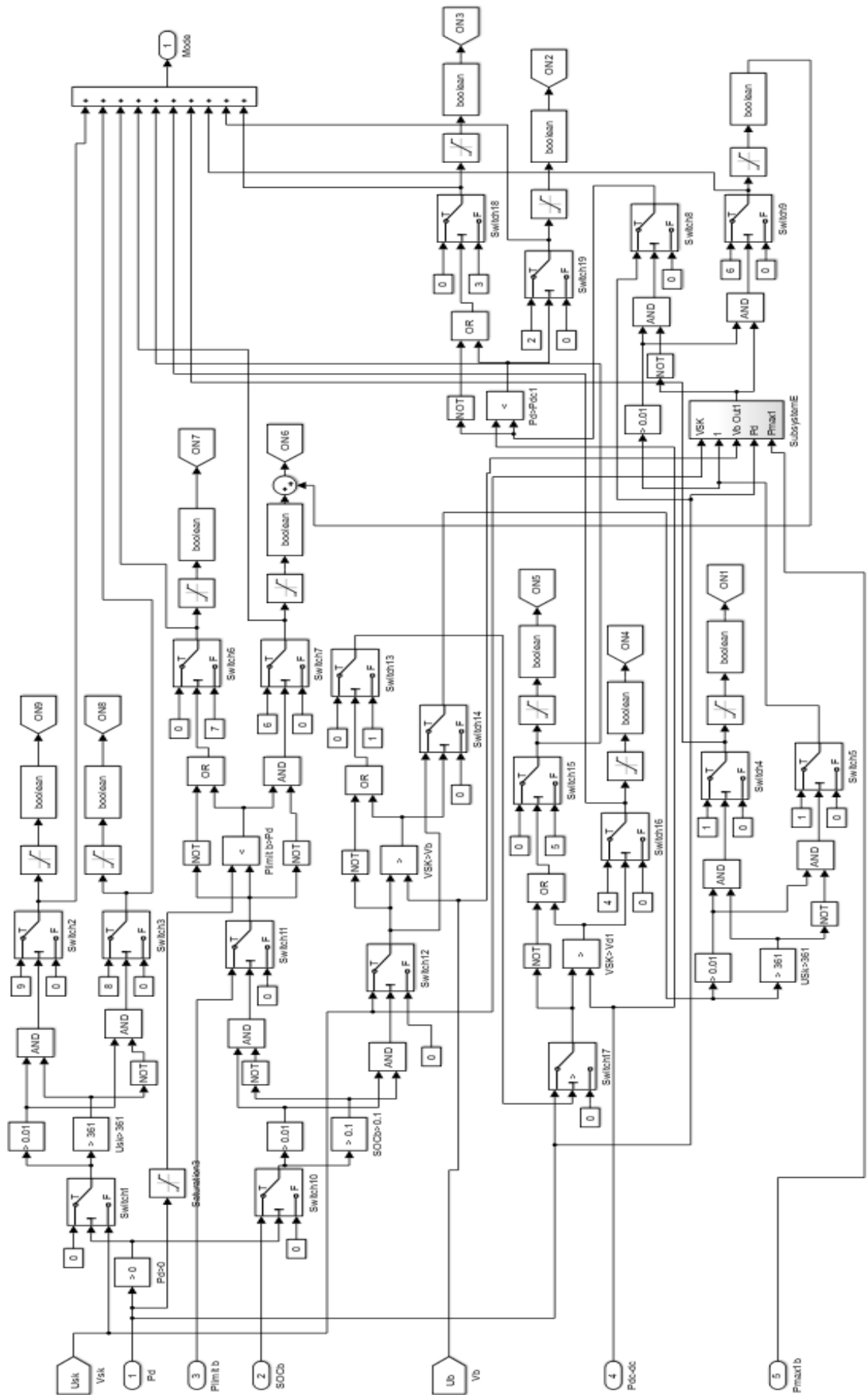


Рисунок 4.6 – Комп’ютерна модель, що реалізує алгоритм керування згідно правил вибору режиму

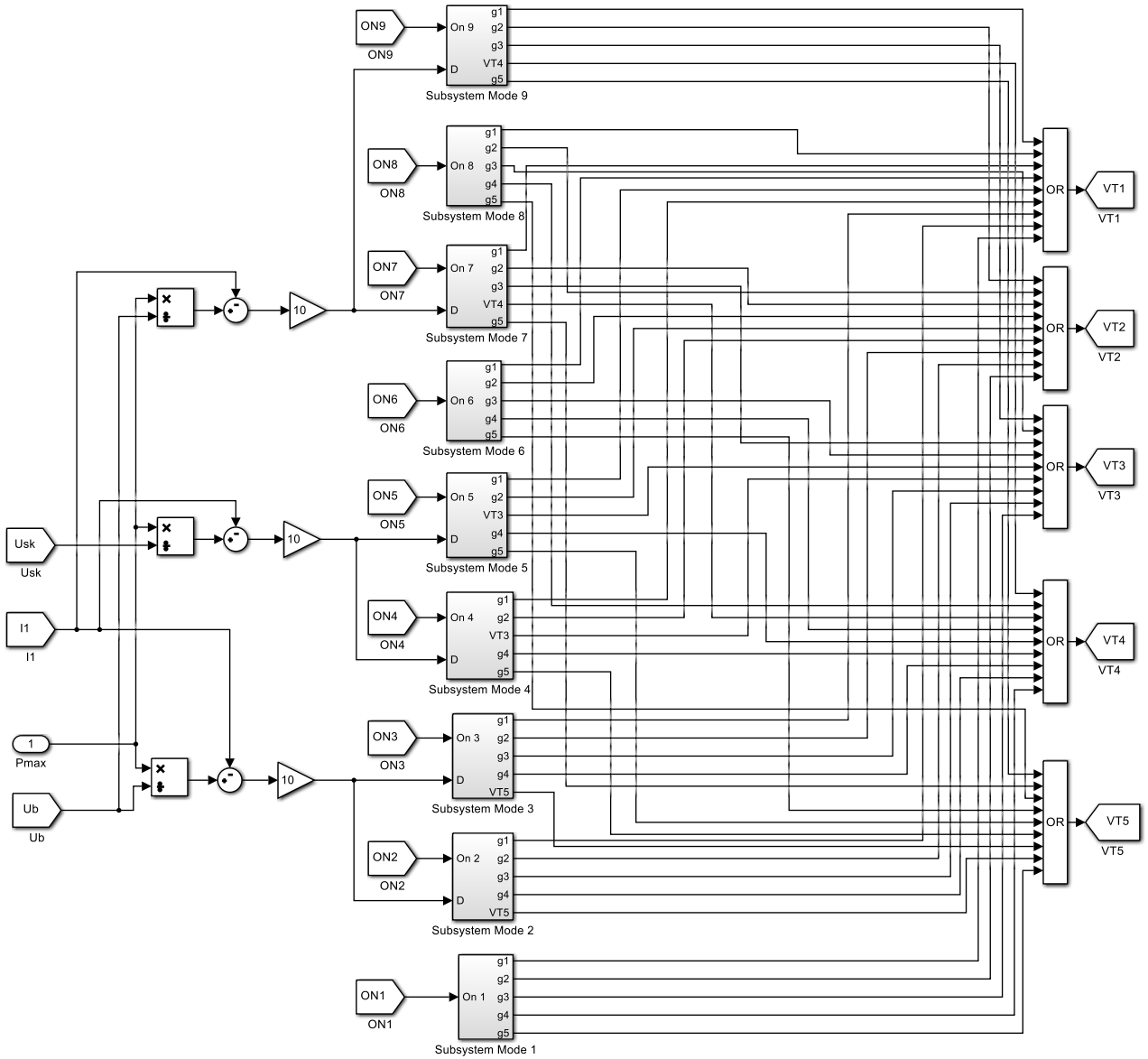


Рисунок 4.7 – Підсистема Subsystem Modes

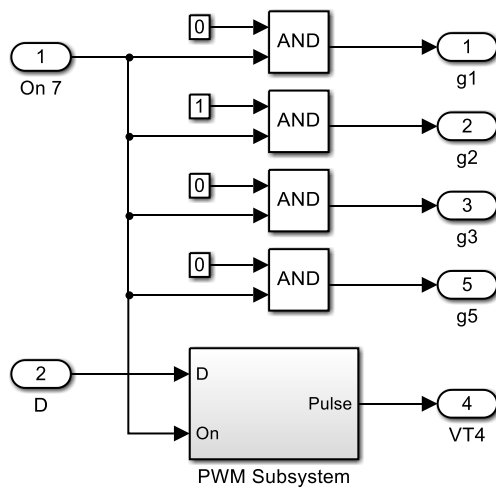


Рисунок 4.8 – Реалізація режиму в підсистемі Subsystem Mode 7

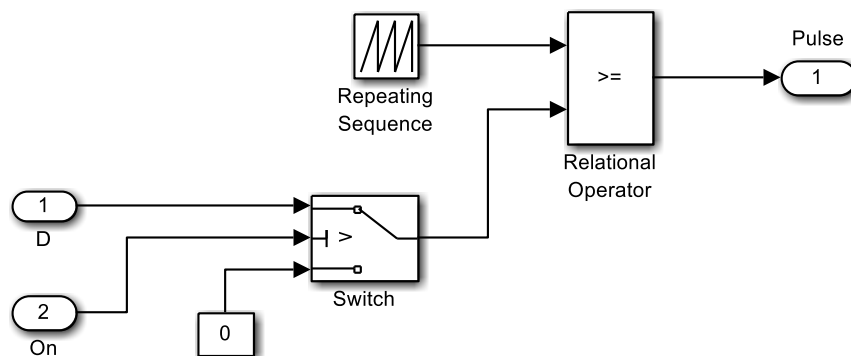


Рисунок 4.9 – Комп'ютерна модель ШІМ

Таблиця 4.1 – Робота транзисторів та DC–DC перетворювача в різних режимах гібридної системи електричного живлення електромобіля

Транзистор Режим №	VT1	VT2	VT3	VT4	VT5
1	1	0	0	0	0
2	1	0	1	0	III
3	1	0	1	0	III
4	1	0	III	0	0
5	1	0	III	0	0
6	0	1	0	0	0
7	0	1	0	III	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	III	0

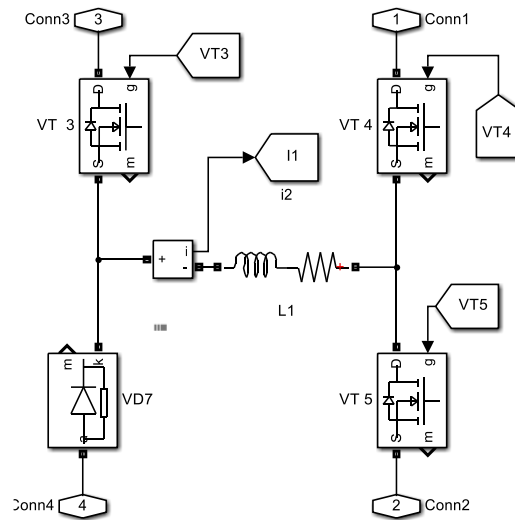


Рисунок 4.10 – Підсистема Subsystem DC–DC

Результати комп'ютерного моделювання режимів роботи досліджуваної схеми

У зв'язку з тривалістю процесу моделювання, в якому використовуються віртуальні моделі транзисторів із ШІМ, подальше симулювання буде обмежено лише початковою частиною стандартного транспортного циклу UDDC. Однак початкові умови для основних енергонакопичувачів – SOCb і SOCsc – будуть змінюватися. З метою відображення усіх режимів, комп'ютерне моделювання роботи вивченої гібридної системи живлення електромобіля буде проведено кілька разів при різних рівнях заряду АКБ та СКМ. Електрична потужність (P_d), споживана електроприводом під час комп'ютерного моделювання, представлена на рис. 3.11.

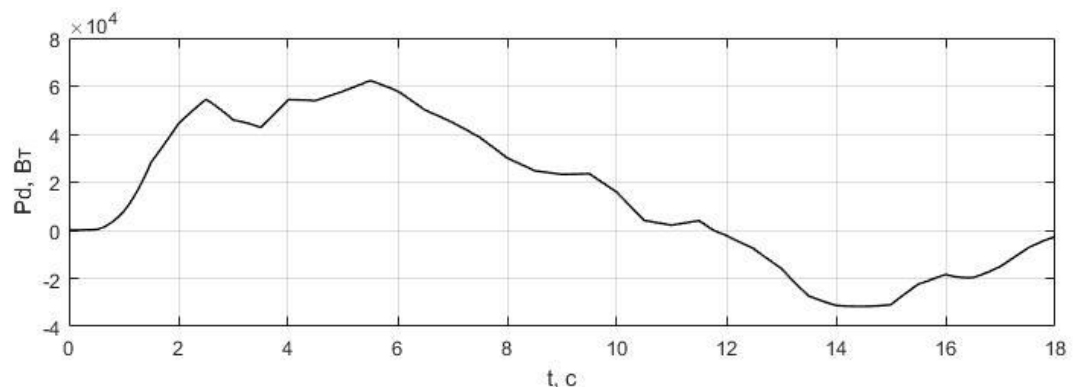


Рисунок 4.11 – Електрична потужність, яку споживає електропривод

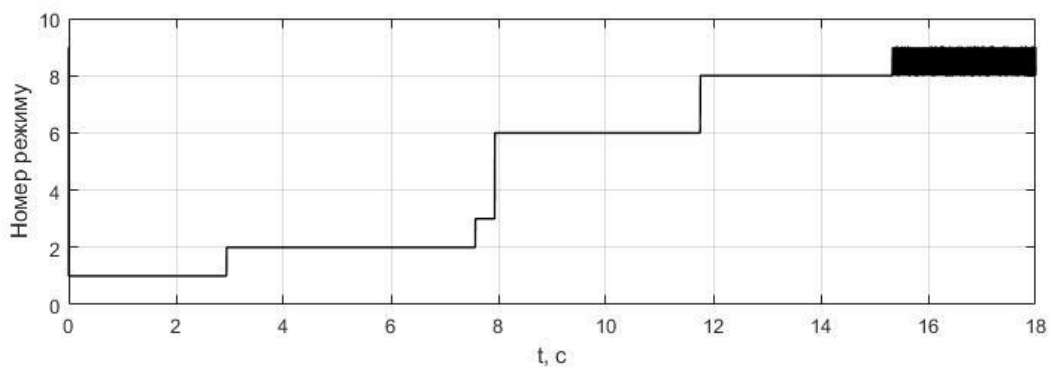
Моделювання за початкової напруги АКБ 301 В та СКМ 370 В.

Осцилограми, що відображають процеси комп'ютерного моделювання при таких початкових умовах, наведено на рис. 3.12.

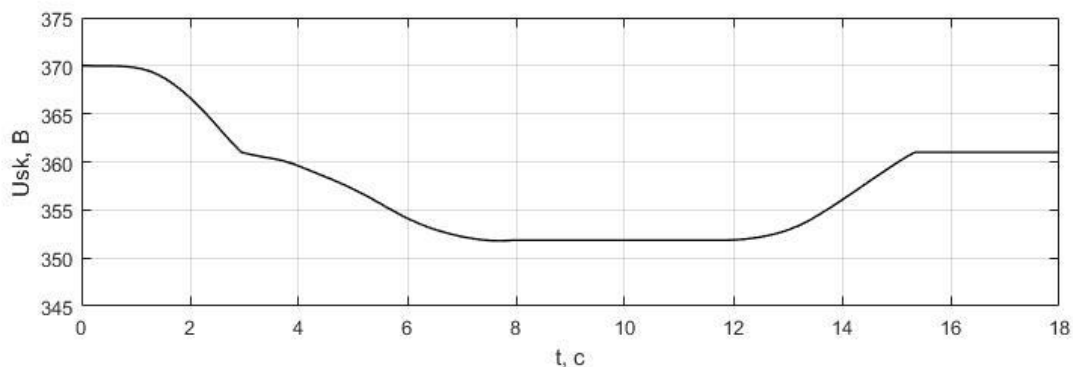
У проміжку часу:

- Від 0 до 3 секунд: $P_d > 0$ (рис. 3.11), $V_{sk} > V_b$, $V_{sk} > 361$ В (рис. 3.12, б). Таким чином, система вибирає режим №1 (рис. 3.12, а), під час якого живлення електроприводу відбувається за рисунком 3.4, а, що відповідає режиму чистого СКМ. Як видно з рис. 3.12, в та г, живлення здійснюється напряму від СКМ.
- Від 3 до 7,5 секунд: $P_d > 0$ (рис. 3.11), $V_{sk} > V_b$, 323 В $< V_{sk} < 361$ В (рис. 3.12, б), $V_b > 300$ В, $P_d \leq P_{max1b}$, $P_d > PDC-DC$. Отже, система обирає режим №2 (рис. 3.12, а), під час якого живлення електроприводу відбувається за рис. 3.4, б, що відповідає режиму гібридного живлення. Як видно з рис. 3.12, е – ж, живлення відбувається від АКБ через DC-DC перетворювач та від СКМ. Оскільки DC-DC вирівнює напругу АКБ до СКМ, на рис. 3.12, в та є спостерігаємо пульсацію струму.
- Від 7,5 до 8 секунд: $P_d > 0$ (рис. 3.11), $V_{sk} > V_b$, 323 В $< V_{sk} < 361$ В (рис. 3.12, б), $V_b > 300$ В, $P_d \leq P_{max1b}$, але $P_d < PDC-DC$. Таким чином, система обирає режим №3 (рис. 3.12, а), під час якого живлення електроприводу відбувається за рис. 3.4, в, що відповідає режиму перезаряджання СКМ І. Як видно з рис. 3.12, в, СКМ підзаряджається від АКБ, що підтверджує режим №3.
- Від 8 до 11,8 секунд: $P_d < 0$ (рис. 3.11), $V_{sk} < 361$ В (рис. 3.12, б). Таким чином, система вибирає режим №8 (рис. 3.12, а), під час якого живлення електроприводу відбувається за рисунком 3.7, а, що відповідає режиму чистої рекуперації СКМ (рис. 3.12, в). Як видно з рис. 3.12, в, відбувається рекуперативне гальмування та накопичення енергії у СКМ.
- Від 11,8 до 19 секунд: $P_d < 0$ (рис. 3.11), $V_{sk} > 361$ В (рис. 3.12, б). Таким чином, система обирає режим №9 (рис. 3.12, а), під час якого живлення електроприводу відбувається за рисунком 3.7, а, що відповідає режиму

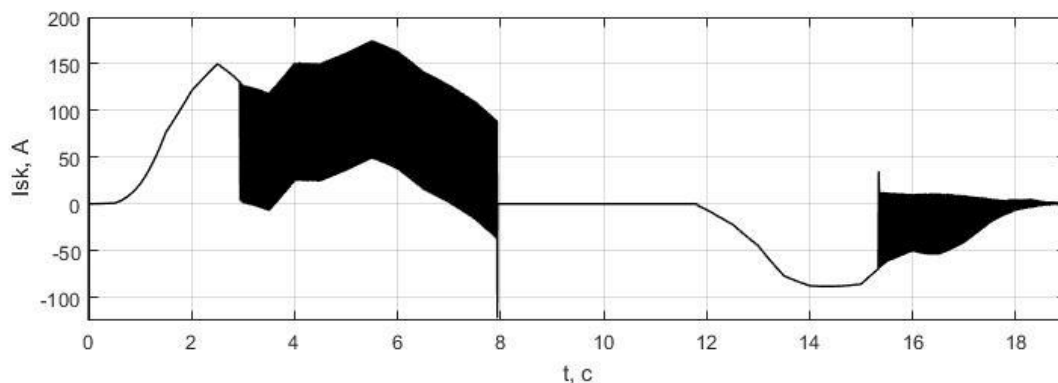
гібридної рекуперації (заряджання СКМ (рис. 3.12, в) та АКБ (рис. 3.12, г)). Як видно з рис. 3.12, а–з, спостерігається рекуперація енергії в СКМ, після чого через DC-DC перетворювач підзаряджаються АКБ. На рис. 3.12, а відбуваються переключення між 8 та 9 режимами, оскільки потужність, яка споживається DC-DC перетворювачем, більша від потужності, яка рекуперується.



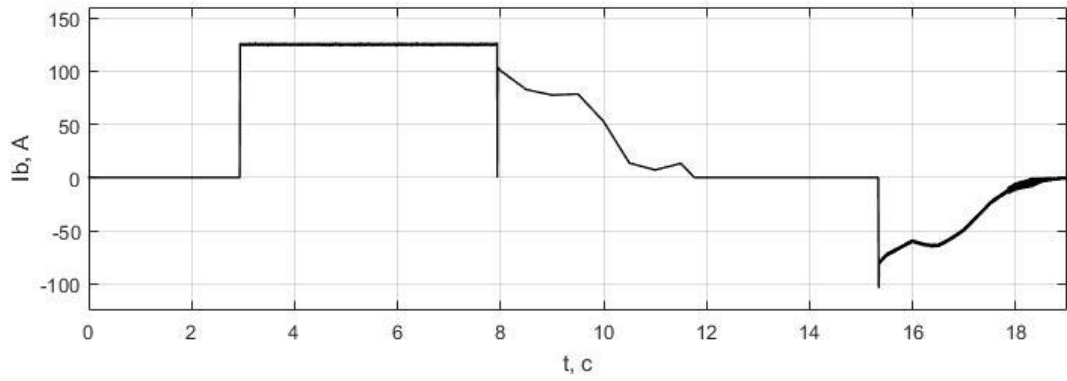
а) номер режиму;



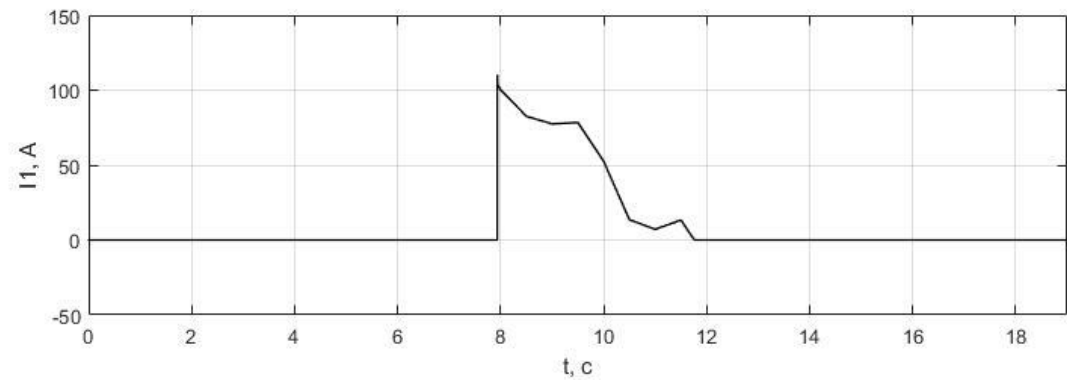
б) напруга СКМ;



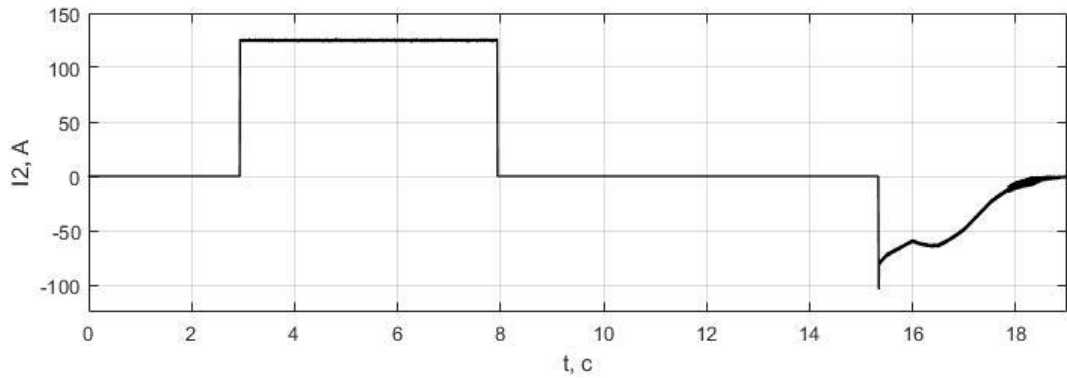
в) струм СКМ;



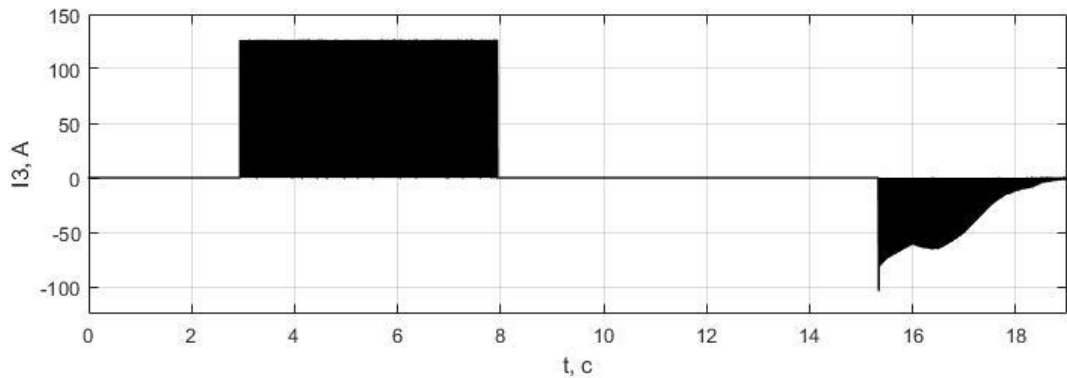
г) струм АКБ;



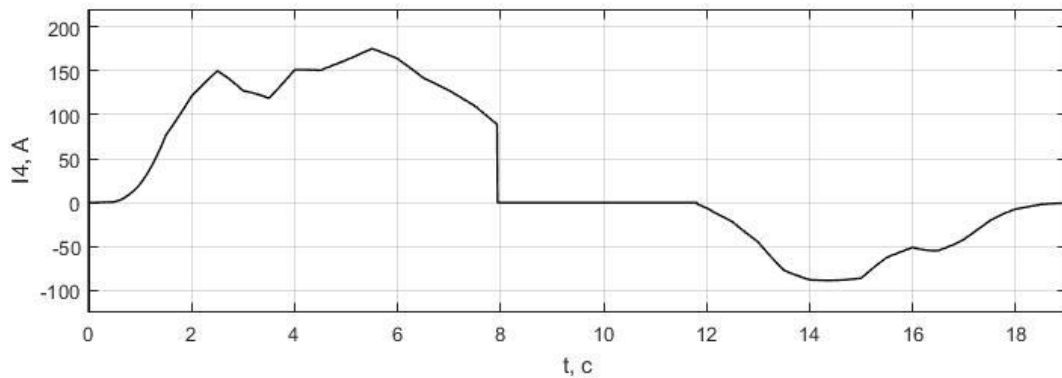
д) струм АКБ зі сторони електроприводу;



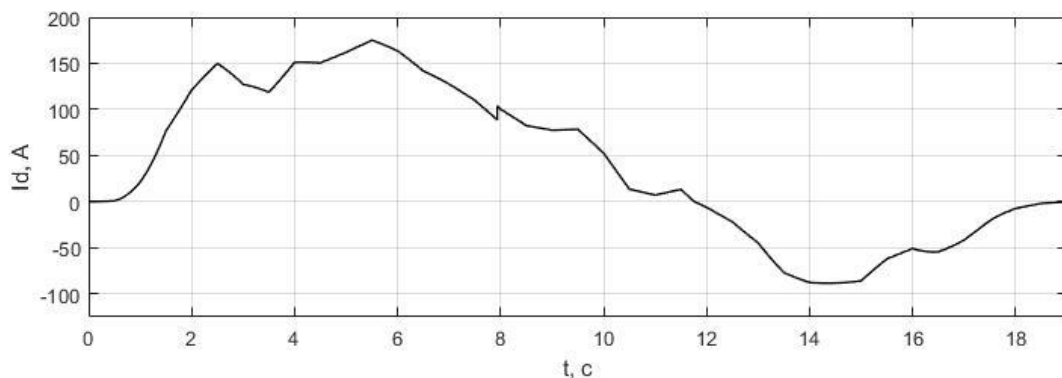
е) струм АКБ зі сторони DC-DC перетворювача;



є) струм СКМ зі сторони DC-DC перетворювача;



ж) струм СКМ зі сторони електроприводу;



з) струм електроприводу

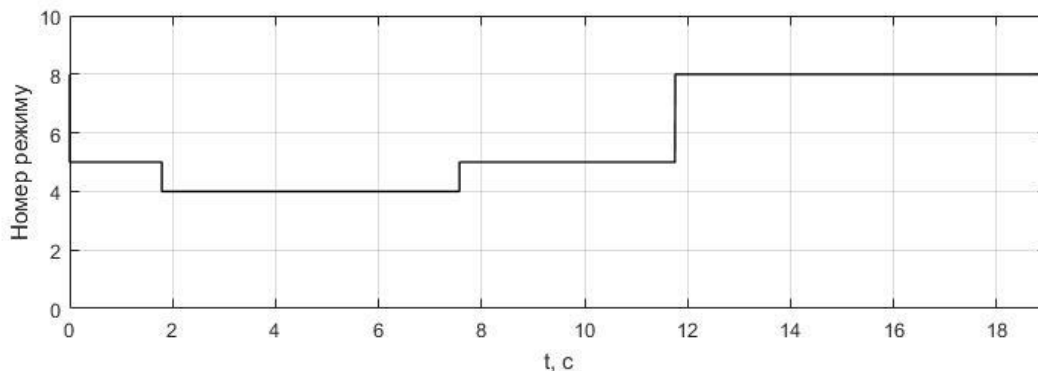
Рисунок 4.12 – Осцилограми, що відображають процеси комп'ютерного моделювання при початковій напрузі АКБ 301 В та СКМ 370 В.

Моделювання за початкової напруги АКБ 290 В та СКМ 250 В.

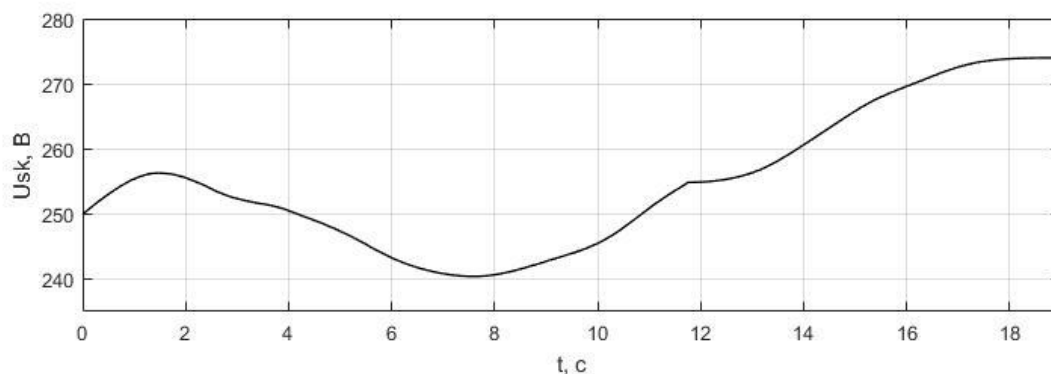
Осцилограми, що відображають процеси комп'ютерного моделювання, за початкової напруги АКБ 290 В, напруги СКМ 250 В, показані на рис. 3.13.

- Від 0 до 2 секунд та від 7,5 до 12 секунд: $P_d > 0$ (рис. 3.13), $V_{sk} < V_b$, $P_d < P_{DC-DC}$. Обрано режим №5 (рис. 3.1, а), під час якого живлення електроприводу відбувається за рисунком 3.5, б, режим перезаряджання СКМ II.
- Від 2 до 7,5 секунд: $P_d > 0$ (рис. 3.13), $V_{sk} < V_b$, але $P_d > P_{DC-DC}$. Обрано режим №4 (рис. 3.13, а), під час якого живлення електроприводу відбувається згідно рис. 3.5, а - режим гібридного живлення II. Як видно з рис. 3.13, е – ж, живлення відбувається від АКБ через DC-DC перетворювач та від СКМ.

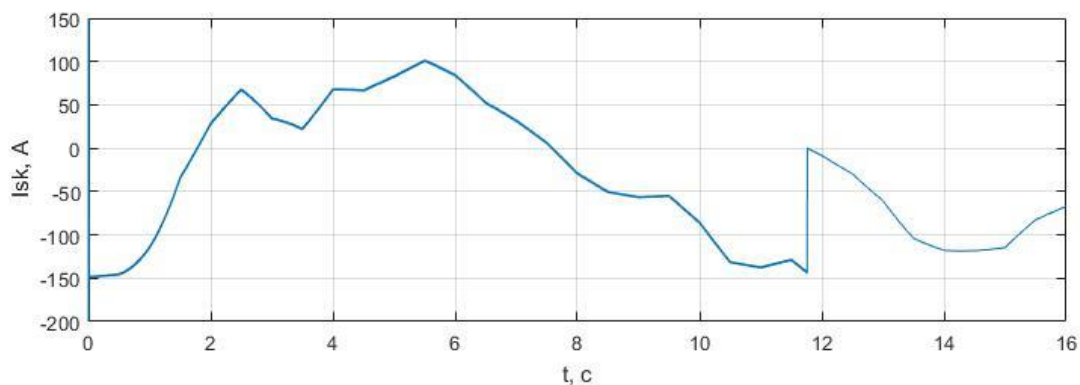
- Від 12 до 19 секунд: $P_d < 0$ (рис. 3.13), $V_{sk} < 361$ В (рис. 3.13.б). Обрано режим №8 (рис. 3.13.а), під час якого живлення електроприводу відбувається згідно рис. 2.7, режим чистої рекуперації СКМ (заряджання СКМ (рис. 3.13.в)). Як видно з рис. 3.13, в, відбувається рекуперативне гальмування та накопичення енергії у СКМ.



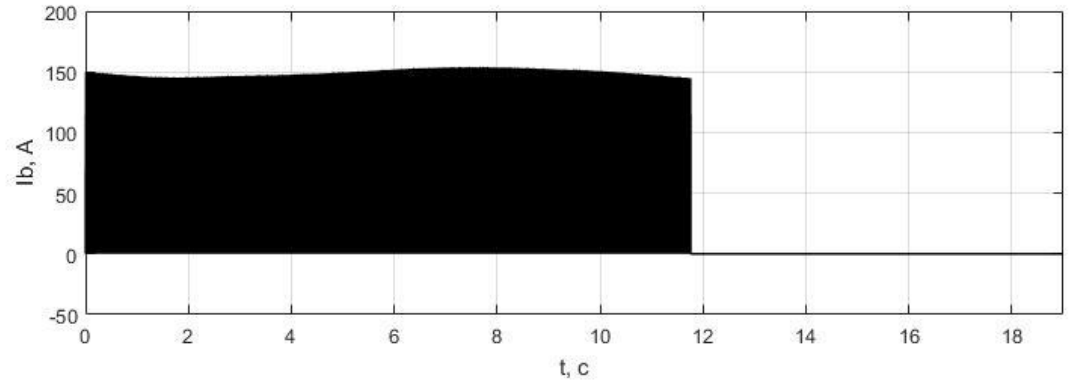
а) номер режиму;



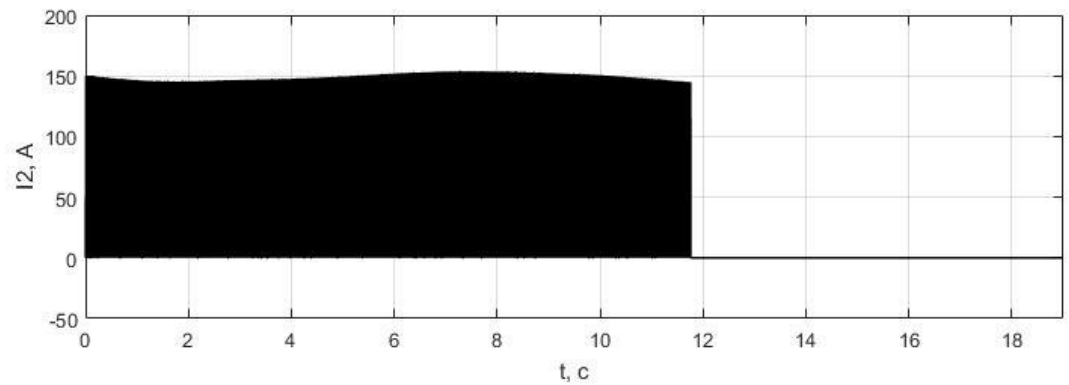
б) напруга СКМ;



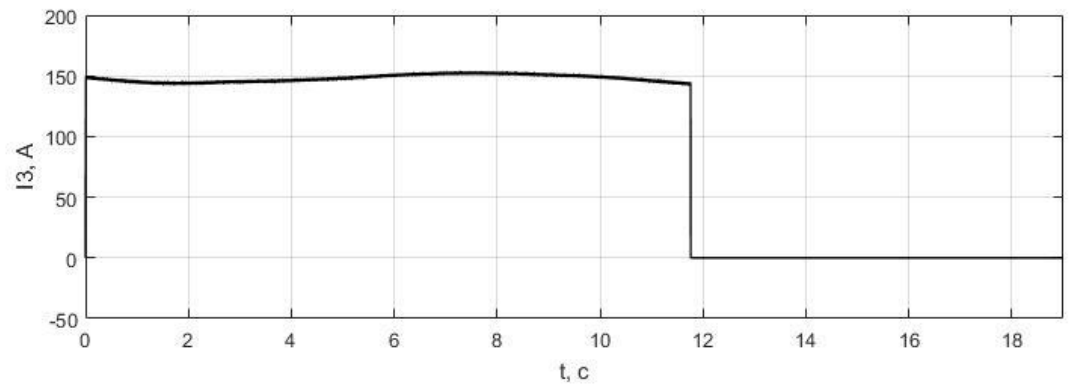
в) струм СКМ;



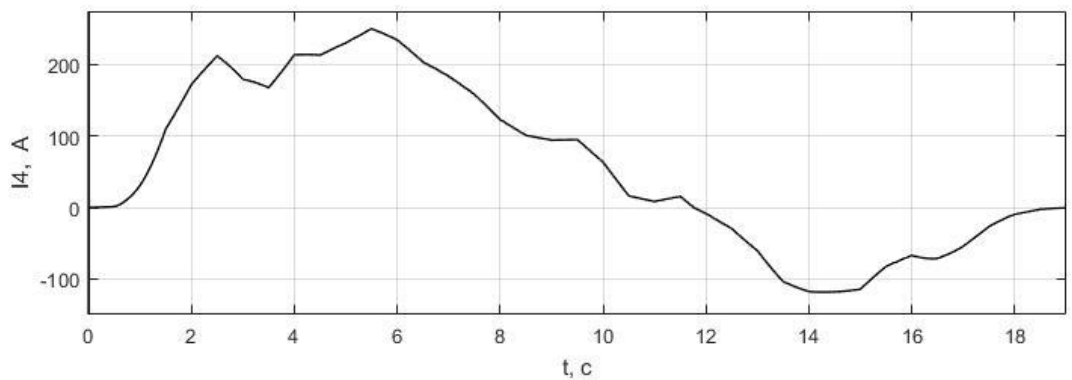
г) струм АКБ;



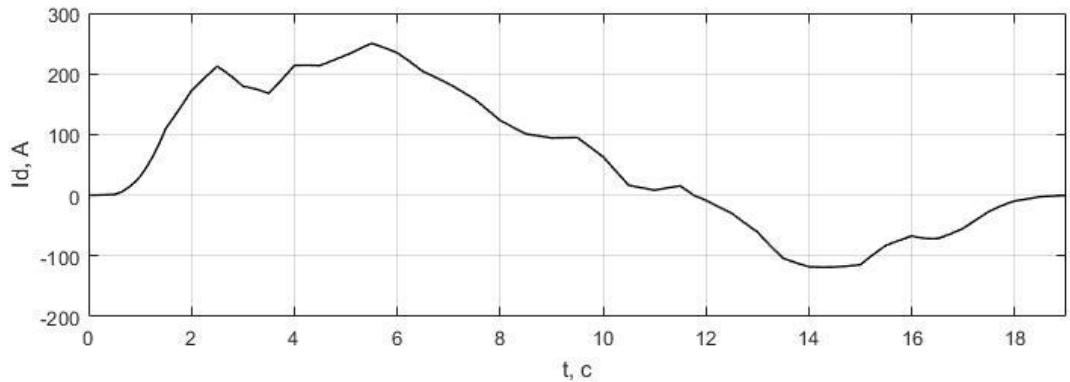
д) струм АКБ зі сторони DC-DC перетворювача;



е) струм СКМ зі сторони DC-DC перетворювача;



є) струм СКМ зі сторони електроприводу;



ж) струм електроприводу.

Рисунок 4.13 – Осцилограми, що відображають процеси комп'ютерного моделювання, за початкової напруги АКБ 290 В, напруги СКМ 250 В.

Як видно із отриманих результатів комп'ютерного моделювання при перехідних (динамічних) режимах руху електромобіля значну частину енергії можна як накопичувати так і віддавати за допомогою СКМ, що повинно забезпечити збільшення ходу електромобіля та зменшення кількості процесів заряджання та розряджання АКБ, внаслідок чого можемо збільшити термін її експлуатації, що забезпечить нам економічну вигоду під час експлуатації електромобіля.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

В даному розділі представленої магістерської роботи розглядається небезпека, яка може вплинути на дослідника під час роботи на ПК. Розроблені заходи по їх усуненню.

■ Аналіз потенційних небезпек

Статистичні данні можливо збирати поза допомогою системи One-line. Тому дослідник може працювати за ПК. Розглянемо небезпеки при роботі на ПК:

– рівень електромагнітних випромінювань, джерелами яких є блоки живлення (50 Гц), системи кадрової розгортки (2 кГц – 5 кГц), блок модуляції променя ПТ (5 МГц – 10 МГц). Електромагнітні поля біля комп'ютера (особливо низькочастотні) негативно впливають на нервову систему, викликаючи головний біль, запаморочення, депресію, безсоння;

– появи підвищеного шуму, джерелами якого є жорсткий диск, вентилятор блока живлення мережі, сканери, пересувні механічні частини принтера. Підвищений шум впливає на центральну та вегетативну нервову систему людини, а також на органи слуху;

– незадовільне освітлення штучного та природного освітлення може призвести до зниження працездатності користувача ПК. Може з'явитися короткозорість, швидка втомленість, що приводить до травмування;

– при порушенні рівня легких позитивних і негативних аеронів в приміщенні вони можуть вплинути на організм дослідника, що може призвести до роздратованості;

– монотонність роботи за ПК приводить до швидшої втоми, це більш ніж 600 однакових дій упродовж 75 % робочого часу за годину. Монотонність роботи, не ергономічність робочого місця призводить до захворювань загально-невротичного характеру у вигляді підвищеної загальної втоми, головного болю, відчуття важкості голови, поганого сну;

- порушення мікроклімату в кімнаті, де розташований ПК. Від працюючої оргтехніки, інших нагріваючих приладів температура в кімнаті підвищується, що призводить до дискомфорту оператора, до швидшої втоми;
- електризований екран монітору притягує частки пилу, який є у повітрі, та заряджає їх, що визиває роздратованість, свп, запалення шкіри. При роботі на лазерному принтері виділяється озон, який сильно роздратовує слизисту оболонку носа, очей, горла і може приводити до онкологічного захворювання;
- при виникненні короткого замикання та попадання іскри до легкозаймистих матеріалів (папір, спирт для обтирки та інше) може виникнути пожежа. Якщо своєчасно її не загасити, то виникне пожежа, яка може призвести до опіків людини та до летальних наслідків;
- підвищене значення напруги в електричній мережі, і замикання якої може пройти через тіло людини. Пошкодження ізоляції електропроводки може спричинити коротке замикання та уразити людину. Пошкодження може бути від скручування проводів, через зачеплення ногами за проводи, тощо;
- негативний вплив шкідливих факторів середовища в дослідницькій лабораторії обладнаної ПК.

Заходи по забезпеченню безпеки

Рівні електромагнітних випромінювань моніторів, що вважаються безпечними для здоров'я, регламентуються нормами MPR 11 1990:10 Шведського національного комітету по вимірах і випробуванням. Ці значення рівнів вважаються базовими. Українські нормативні документи повністю збігаються в частині рівнів ЕМІ з вимогами MPR 11.

Необхідно враховувати, що будь-який персональний комп'ютер, допоміжне обладнання та периферійні пристрої які експлуатуються разом з ним (принтер, сканер, модем) є електроустановками які живляться напругою до 1000 В й на них і на все, що пов'язано з їх експлуатацією в повній мірі поширюються вимоги електробезпеки.

Тому з метою забезпечення безпеки, як користувачів, так і обслуговуючого персоналу комп'ютерів, при їх експлуатації в приміщеннях

(лабораторіях) обладнаних комп'ютерами, повинні бути повністю дотримані вимоги електробезпеки ДСТУ 7237:2011 «Системи стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту».

Для запобігання ураження електричним струмом, необхідно всі дроти, що підходять до ПК та до адаптерів, згорнути у спеціальні ізолюючі вкриття. Розташувати їх на стіні, або на полу. Це не дасть можливості пошкодження дротів механічно.

Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщеннях з ПК повинні бути передбачені системи вентиляції, кондиціонування та опалення, згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»[20].

При виборі системи вентиляції, необхідно врахувати, що в приміщеннях з комп'ютерною технікою повинен бути забезпечений 3-х кратний повітрообмін за годину.

Рівні позитивних і негативних іонів в повітрі приміщень з комп'ютерною технікою повинні відповідати санітарно-гігієнічним нормам ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень», які наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 5.1 – Рівні іонізації повітря приміщень з комп'ютерною технікою

Рівні іонізації повітря	Кількість іонів в 1 см ³ повітря	
	n^+	n^-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

Для підтримки оптимального рівня легких позитивних і негативних аероіонів в повітрі приміщень, обладнаних комп'ютерною технікою, рекомендується використовувати біполярні коронні аероіонізатори.

Джерелом електростатичного поля є позитивний потенціал, який подається на внутрішню поверхню екрана монітора для прискорення електронного променя.

Напруженість поля для кольорових дисплеїв може досягати 18 кВ. Тому із зовнішньої сторони до екрана притягаються з повітря негативні частинки, які при нормальній вологості мають певну провідність.

Якщо зовнішня поверхня екрана заземлена, його електростатичний потенціал знижується: при сухому повітрі на 50 %, при вологому більш ніж на 50 %. Для зменшення впливу принтера, треба винести його в інше приміщення.

В рамках дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості та напруженості праці були проведені відповідні виміри мікроклімату, освітлення, рівня шуму та інші у лабораторії де є ПК.

Оцінку рівня умов, важкості та напруженості праці за бальною шкалою розглянемо на прикладі оцінки факторів виробничого середовища для дослідника лабораторії обладнаної ПК.

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання за бальною шкалою

Фактор (показник)	Фактичне значення	Час дії, год.	ГДК, ГДР показники, $R_{доп}$	$X_{визн}$, бали	Клас умов праці	X_i , бали
1	2	3	4	5	6	7
Мікроклімат за ТНС-індексом, $t, ^\circ C$	26,5	10	22,9-25,1	1,6	3,2	2
Освітленість приміщення E , лк	430	10	500	-	3,1	1
Розряд і підрозряд зорових робіт, $Z_{ор}$	A - 1	-	-	-	-	-
Рівень шуму L , дБА	108	6	50	-	3,3	1,5

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6	7
Загальні енергозатрати організму, Вт	350	8	290	1,2	3,2	3
Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук)	61500	8	40000	1,53		
Тривалість зосередженої уваги (в % від часу зміни)	78	8	75	0,832		
Тривалість робочого дня, год	10	10	10	0,15		

У відповідності до вихідних даних, вносимо наявні фактори умов праці та виробничого середовища, що впливають на працівника в процесі трудової діяльності, їх фактичне значення та час дії до стовпчиків 1, 2, 3, таблиці 4.2 «Результати оцінювання за бальною шкалою».

Відповідно до додатків методичних вказівок [19], за витратами енергії, визначаємо категорію робіт для інженера-дослідника центральній заводській лабораторії обладнаної ПК. Умови праці, за витратами енергії, не перевищують 140 Вт (90-120 ккал/год) та повинні відповідати легким фізичним роботам – категорії 1б.

З додатків [20], відповідно до категорії робіт 1б, розряду зорових робіт Б-1 та виявлених показників умов та напруженості праці, визначаємо ГДК (ГДР) виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 4, таблиці 6.2 «Результати оцінювання за бальною шкалою».

Для окремих факторів і показників за методикою визначеною «Гігієнічною класифікацією праці», визначаємо розрахункові коефіцієнти $X_{визн}$ та вносимо їх значення до стовпчика 5, таблиці 6.2 «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

– для гігієнічної оцінки мікроклімату використовуємо ТНС-індекс. Розрахунковий коефіцієнт $X_{визн}$ при оцінка мікроклімату визначаємо в балах, за формулою (7.1) [65]:

$$X_{визн} = \frac{1 \cdot t_1 + 2 \cdot t_2 + 3 \cdot t_3 + 4 \cdot t_4}{T}, \quad (4.1)$$

де t_1, t_2, t_3, t_4 – час дії фактора на відповідному ступені 4 класу, год;

T – тривалість робочої зміни, год;

1, 2, 3, 4 – ступені 4 класу (шкідливі умови праці).

$$X_{визн} = \frac{4 \cdot 4}{10} = 1,6.$$

– для показників важкості та напруженості праці розрахункові коефіцієнти визначаються за основними та допоміжними показниками, що є характерними для конкретного робочого місця, за формулою (7.2) [21]:

а) Загальні енергозатрати організму, $K_{знач} = 1,0$:

$$X_{визн} = \frac{P_{виз} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{доп}}, \quad (4.2)$$

де $P_{виз}$ – вимірні показники важкості та напруженості праці;

T – час дії показника важкості та напруженості праці;

$K_{знач}$ – коефіцієнт значимості показника, для основних показників $K_{знач}=1,0$, для допоміжних $K_{знач}=0,15$;

8 – тривалість робочої зміни, год;

$P_{доп}$ – допустимі рівні показників важкості та напруженості праці.

$$X_{визн} = \frac{350 \cdot 10 \cdot 1,0}{10 \cdot 290} = 1,2.$$

б) Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), $K_{знач} = 1,0$:

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{доп}} = \frac{61500 \cdot 10 \cdot 1,0}{10 \cdot 40000} = 1,53.$$

в) Тривалість зосередження уваги (% від часу зміни), $K_{знач} = 1,0$:

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{доп}} = \frac{78 \cdot 8 \cdot 1,0}{10 \cdot 75} = 0,832.$$

з) Тривалість робочого дня (зміни), $K_{знач} = 0,15$:

$$X_{визн} = \frac{P_{вим} \cdot T \cdot K_{знач}}{8 \cdot P_{дон}} = \frac{10 \cdot 10 \cdot 0,15}{10 \cdot 10} = 0,15.$$

Визначаємо клас та ступінь шкідливості умов праці для кожного з виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 6 таблиці 6.2:

– для мікроклімату, відповідно до значення розрахункового коефіцієнта $X_{визн} = 4$, з таблиці 7.2 [21] – 3 клас, 4 ступінь (3.4);

– при оцінці освітленості робочої зони приміщення, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до $P_{вим} = 250$ лк, за додатками Г та табл. Г.1 [21] – 3 клас, 1 ступінь (3.1);

– для гігієнічної оцінки рівня шуму, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до виміряного значення рівня шуму $P_{вим} = 102$ дБА, за додатками Д та табл. Д.1 [21] – 3 клас, 3 ступінь (3.3);

– клас і ступінь важкості та напруженості праці визначаємо як суму розрахованих балів усіх показників $X_{визн}$ за формулою (7.3) [21]:

$$X_{сум} = \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.3)$$

$$X_{сум} = 1,6 + 1,2 + 1,53 + 0,832 + 0,15 = 5,312 .$$

З таблиці 7.3 [21] за значенням суми розрахованих балів показників $X_{сум} = 5,312$ – 5 клас, 3 ступінь (3.3).

Оскільки загальна гігієнічна оцінка умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, з урахуванням комбінованої та сумісної дії виробничих факторів, встановлюється за найбільш високим класом та ступенем шкідливості окремих факторів і показників, тому в результаті досліджень, відповідно до розрахунків, встановлено, що умови праці на робочому місці дослідника лабораторії обладнаної ПК належать до 3 класу, 3 ступеню.

Оскільки при гігієнічній оцінці виявлена наявність шкідливих та особливо шкідливих, важких та особливо важких умов праці, проводимо дослідження фактичного стану умов праці, з метою визначення розмірів

доплат за ступені шкідливості факторів виробничого середовища та показників важкості та напруженості праці за бальною шкалою, та вносимо їх значення до стовпчика 7, таблиці 6.2:

– для оцінки впливу мікроклімату, виходимо з того що він відповідає 3 класу, 4 ступеню умов праці, а час його дії уже врахований, тому – $X_{cm} = X_i = 4$;

– при оцінці впливу освітленості, виходимо з того що вона відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 8 годин, тому коректування не потрібно – $X_{cm} = X_i = 1$;

– для оцінки впливу шуму, виходимо з того, що його рівень відповідає 3 класу, 3 ступеню умов праці та діє протягом 8 годин, тому значення X_i визначаємо за формулою 4.4:

$$X_i = X_{cm} \cdot \frac{T}{8}, \quad (4.4)$$

$$X_i = X_{cm} \cdot \frac{T}{8} = 1 \cdot \frac{10}{8} = 1,25.$$

– для оцінки впливу важкості та напруженості праці, виходимо з того що вони відповідають 3 класу, 3 ступеню умов праці, а час їх дії уже врахований, тому – $X_{cm} = X_i = 3$;

Для визначення конкретного розміру доплати, умови праці оцінюємо по сумі значень X_i , за формулою (4.5):

$$X_{факт} = \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.5)$$

$$X_{факт} = 2 + 1 + 1,25 + 2 = 6,25 .$$

Розмір доплати за умовами праці визначаємо в залежності від їх фактичного стану – $X_{факт} = 6,25$, на підставі Типового положення «Про оцінку умов праці на робочих місцях і порядок застосування галузевих переліків робіт, на яких можуть установлюватися доплати робітникам за умови праці». Розмір доплати до тарифної ставки (окладу) – 20 %.

На підставі результатів загальної гігієнічної оцінки умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, а також дослідження фактичного стану умов праці робимо висновки та пропозиції:

1. Умови, важкості та напруженості праці на робочому місці інженера-дослідника центральній заводській лабораторії, згідно результатів досліджень, належать до 3 класу, 3 ступеню (особливо важкі та особливо шкідливі умови праці), що не відповідає вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» до даного робочого місця;

2. Відповідно до класифікації умови, важкість та напруженість праці на робочому місці – дослідника належать до категорії 1б, тому необхідно привести ці умови у відповідність до нормативних значень, які відповідають оптимальним параметрам для категорії 1б, а саме:

– мікрокліматичні умови, за інтегральним показником теплового навантаження середовища – ТНС-індексом – 20,2 °С - 22,8 °С;

– освітленість приміщення для роботи з дисплеями й відеотерміналами відповідає розряду зорових робіт Б-1, нормована загальна освітленість якого, на робочих столах – $E = 300$ лк;

– рівень шуму в робочій зоні дослідника – 60 дБА;

– загальні енергозатрати організму, до 175 Вт;

– стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), до 20000;

– тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни), до 50 %;

– тривалість робочого дня, 6 год або 7 год.

3. Для приведення умов, важкості та напруженості праці до вищезазначених показників необхідно передбачити комплекс заходів, які забезпечать нормалізацію умов праці, наприклад:

– для приведення мікрокліматичних умов до відповідності, необхідно забезпечити припливно-витяжну механічну вентиляцію та кондиціювання приміщення;

– для забезпечення нормованої освітленості приміщення яка відповідає розряду зорових робіт необхідно провести додаткові розрахунки та визначитися з потужністю ламп, типом ламп та світильників та їх раціональним розміщенням;

– для зниження рівня шуму в робочій зоні дослідника необхідно замість матричних принтерів застосувати лазерні; з метою зниження зовнішнього шуму замінити вікна на пластикові з трикамерним склопакетом;

– для зменшення загальних енергозатрат організму, необхідно скоротити тривалість робочого дня 6 год або 7 год.

– для зменшення напруженості праці від стереотипних рухів за зміну при локальному навантаженні кистей рук та пальців необхідно передбачити перерви, не менш 15 хвилин, кожні 1-2 години;

– для зменшення тривалості зосередження уваги, необхідно скоротити тривалість робочого дня, передбачити додаткові перерви.

4. Якщо з об'єктивних причин вищезазначені заходи неможливо виконати, необхідно забезпечити доплати до тарифної ставки (окладу) за особливо шкідливі та особливо важкі умови праці у розмірі 20 %.

В даному розділі нами було розглянуто аналіз потенційних небезпек, які можуть вплинути на дослідника при обробці статистичних даних на ПК. Та розроблені заходи по їх усуненню. Розроблені заходи по санітарно-гігієнічних факторах, по пожежній безпеці.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Аналіз отриманих експериментальних даних вказує, що використання технології старт-стоп дозволяє досягти паливної економічності до 8% при використанні автомобіля при їзді по місту. Проте автомобіль не завжди використовується у міському циклі їзди, при якому дана система не дає економії палива. Але, з другої сторони, якщо автомобіль використовувати в якості таксування по місту, при відносно великих пробігах авто, можна досягти значної економії. В нашому випадку порахуємо економічну ефективність транспортного засобу при використанні в якості міського таксі.

Оцінка ефективності енергозбереження

Моделювання зміни параметрів автомобільного двигуна як розрахунковим, так і експериментальним шляхом протягом реальної тривалості експлуатаційного циклу неможливо як за часом, так і за витратою палива. Тому відносні оцінки будуть отримані на основі загальновідомих співвідношень між витратами палива у сталих й перехідних режимах. Для отримання конкретних виразів оцінок скористаємося формулою для середньоексплуатаційної питомої ефективної енергозатрат, що наведена в [22]:

$$g_{e \text{ ср.е.}} = \frac{\sum B_{\text{ч.пер.}} + \sum B_{\text{ч.уст.}}}{A}, \quad (5.1)$$

де $\sum B_{\text{ч.уст.}}$ – сумарні, по всіх усталених режимах експлуатаційного циклу, витрати енергії; $\sum B_{\text{ч.пер.}}$ – сумарні, по всіх перехідних режимах експлуатаційного циклу, витрати енергії; A – сумарна робота на валу електродвигуна за умовний цикл експлуатації.

Для проведення аналізу у відносних величинах перетворимо цей вираз. Спочатку позначимо:

$$\sum B_{\text{ч. пер.}} = K_{\text{пер}} \times \sum B_{\text{ч. уст.}}, \quad (5.2)$$

де $K_{\text{пер}}$ коефіцієнт, що позначає частку витрати енергії у перехідних процесах відносно витрати енергії в усталених процесах.

Позначимо як $\sum V_{ч.уст.1}$ витрату енергії в усталеному режимі після впровадження системи СКМ для усталеного режиму, при чому $\sum V_{ч.уст.1} < \sum V_{ч.уст.}$. $\sum V_{ч.уст.1}$ можна представити у вигляді:

$$\sum V_{ч.уст.1} = \sum V_{ч.уст.} - K_{з\ уст.} \times \sum V_{ч.уст.} = \sum V_{ч.уст.} \times (1 - K_{з\ уст.}), \quad (5.3)$$

де $K_{з\ уст.}$ – коефіцієнт, що враховує зниження витрати енергії на усталених режимах.

Позначимо як $\sum V_{ч.пер.1}$ витрату енергії в перехідних режимах після впровадження системи СКМ, при чому $\sum V_{ч.пер.1} < \sum V_{ч.пер.}$.

$\sum V_{ч.пер.1}$ представимо у вигляді:

$$\sum V_{ч.пер.1} = \sum V_{ч.пер.} - K_{з\ пер.} \times \sum V_{ч.пер.} = \sum V_{ч.пер.} \times (1 - K_{з\ пер.}), \quad (5.4)$$

де $K_{з\ пер.}$ – коефіцієнт, що враховує зниження витрати енергії в перехідних режимах.

З урахуванням введених позначень вираз для середньо-експлуатаційної питомої ефективної витрати енергії $g_{e\ ср.е.1}$, після впровадження системи СКМ, прийме вигляд:

$$g_{e\ ср.е.1} = \frac{\sum V_{ч.уст.} \times (1 - K_{з\ уст.})}{A} + \frac{K_{пер.}(1 - K_{з\ пер.}) \times \sum V_{ч.уст.}}{A}. \quad (5.5)$$

Очевидно, що $g_{e\ ср.е.1} < g_{e\ ср.е.}$, тоді їх співвідношення прийме вигляд:

$$\frac{g_{e\ ср.е.1}}{g_{e\ ср.е.}} = \frac{[(1 - K_{з\ уст.}) + K_{пер.}(1 - K_{з\ пер.})] \times \sum V_{ч.уст.}}{(1 + K_{пер.}) \times \sum V_{ч.уст.}}, \quad (5.6)$$

Або після перетворень:

$$\frac{g_{e\ ср.е.1}}{g_{e\ ср.е.}} = 1 - \frac{K_{з\ уст.} + K_{пер.} \times K_{з\ пер.}}{1 + K_{пер.}}, \quad (5.7)$$

тоді:

$$g_{e\ ср.е.1} = g_{e\ ср.е.} \times \left(1 - \frac{K_{з\ уст.} + K_{пер.} \times K_{з\ пер.}}{1 + K_{пер.}}\right) \quad (5.8)$$

■ Розрахунок економічної ефективності.

Розрахунок економічних показників проведено з визначенням додаткового економічного ефекту від покращення енергетичної економічності електромобіля, оснащеного системою СКМ.

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності автомобіля, обладнаного системою СКМ вказані в табл.5.1.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності автомобіля, обладнаного системою СКМ

Назва показника	Одиниця виміру	Модернізована модель	Базова модель
Витрата енергії при перехідних режимах на 100 км	кВт*год	16,36	18,8
Річне планове завантаження	км	21700	21700
Вартість електричної енергії	грн./кВт*год	2,64	2,64

Середня питома витрата енергії для вказаного режиму роботи становить:

$$g_{e \text{ ср.е.}} = K_{\text{зав}} \times g_e \quad (5.9)$$

де $K_{\text{зав}}$ – коефіцієнт завантаження автомобіля (1,0), g_e - питома витрата енергії на даному режимі роботи ($g_e = 18,8$ кВт*год).

$$g_{e \text{ ср.е.}} = 1,0 * 18,8 = 18,8 \text{ кВт*год}$$

Згідно отриманих даних $K_{\text{з пер.}} = 0,13$, $K_{\text{з уст.}} = 0,01$ та оскільки частка перехідних режимів (міського циклу) для автомобіля, що використовується становить приблизно 80% від загального часу роботи, то $K_{\text{пер.}} = 0,8$.

Підставивши дані значення у (5.8), отримуємо:

$$g_{e \text{ ср.е.1}} = 18,8 * (1 - (0,01 + 0,8 * 0,13)) / (1 + 0,8) = 18,8 * 0,937 = 17,62 \text{ кВт*год}$$

Річний економічний ефект від зниження витрати енергії визначається за залежністю:

$$E_k = (g_{e \text{ ср.е.}} - g_{e \text{ ср.е.1}}) \times T_p \times c / 100, \quad (5.10)$$

де T_p - річне планове завантаження автомобіля, км; c – закупівельна ціна електричної енергії, грн/кВт*год ($c = 2,64$ грн/кВт*год).

Виходячи з вище вказаного, отримуємо економію $E_k = 1397,83$ грн/рік.

Проте, слід відзначити, що використання СКМ також подовжує термін експлуатації АКБ, що додатково покращує економічну ефективність електромобіля.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз типових акумуляторних батарей та топології систем живлення, що використовуються в електромобілях наведено їх переваги та недоліки, внаслідок чого запропоновано багаторежимну акумуляторно-суперконденсаторну системи живлення електромобіля.
2. Розраховано параметри системи живлення електромобіля, в якості прототипу якого вибрано автомобіль Renault Megane 3 та наведено математичну модель руху даного електромобіля.
3. У результаті аналізу різної топології гібридних бортових систем електроживлення електромобіля досліджено систему із застосуванням одного малопотужного двонапрявленого DC-DC перетворювача та побудовано комп'ютерну модель, що описує динамічні процеси в ній.
4. Систему енергетичного менеджменту вибору режиму було розроблено та налаштовано з використанням алгоритму правил, який базується на поточних значеннях ступенів зарядженості акумуляторної батареї та суперконденсаторного модуля. Алгоритм правил, вбудований в систему, дозволяє приймати рішення щодо вибору оптимального режиму в залежності від конкретних умов зарядження акумуляторної батареї та суперконденсаторного модуля.
5. За результатами симулювання у MATLAB Simulink досліджувана багаторежимна гібридна акумуляторно–суперконденсаторна система електричного живлення електромобіля виконує свої функції.
6. Розраховано економічний ефект від використання запропонованої системи, який становить 1397,83 грн/рік а також подовжує термін експлуатації акумуляторної батареї, що додатково покращує економічну ефективність електромобіля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сопіга М.В., Толочко О.І. Аналітичний огляд автономних джерел живлення, що застосовуються у тяговому електроприводі електромобілів. [Електронний ресурс]. – Доступ до ресурсу: <http://jour.fea.kpi.ua/article/download/96160/91540>
2. Смирнов О. Науково-технічні основи підвищення ефективності експлуатації гібридних транспортних засобів. – 2016. [Електронний ресурс]. – Доступ до ресурсу: http://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/1855/1/Dis_Smirnov_.pdf
3. Nemmati R., Saboori H. Emergence of hybrid energy storage systems in renewable energy and transport applications – A review-----акумуляція різна // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 65. – P.11–23.
4. Tie S., Tan C. A review of energy sources and energy management system in electric vehicles // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – Vol. 20. – P. 82–102.
5. Kumar L., Jain S. Electric propulsion system for electric vehicular technology: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 29. – P. 924–940.
6. Pollet B., Staffell I., Lei Shang J. Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects // Journal of Power Sources. – 2012. – Vol. 84. – P. 236 – 248.
7. Dougal R., Liu S., White R.. Power and Life Extension of Battery–Ultracapacitor Hybrids // IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies. – 2002. – Vol. 25. – P. 1-11.
8. Що таке суперконденсатори і навіщо вони потрібні [Електронний ресурс]. – Доступ до ресурсу: <https://k-dom.com.ua/shho-take-superkondensatori-i-navishho-voni-potribni/>

9. Cao J., Emadi A. A New Battery/UltraCapacitor Hybrid Energy Storage System for Electric, Hybrid, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles // IEEE Transactions in Power Electronics. – 2012. – Vol. 27.
10. Song Z., Li J., Han X., Xu L., Lu L., Ouyang M., Hofmann H. Multi-objective optimization of a semi-active battery/supercapacitor // Energy storage system for electric vehicles. – 2014. – Vol. 135. – P. 212–224.
11. Song Z., Hofmann H., Li J., Hou J., Han X., Ouyang M. Energy management strategies comparison for electric vehicles with hybrid energy storage system // Applied Energy. – 2014. – Vol. 134. – P. 321–331.
- Щур І., Русек А., Shchur I., Rusek A. An onboard power feeding system for electric vehicles using ultracapacitor // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012. – VOL. 3. P. 278–282. [Електронний ресурс]. – Доступ до ресурсу: <http://ees.kdu.edu.ua/wp-content/uploads/2013/04/278.pdf>
12. Каталог. – Акумулятори. – Літєві акумулятори. [Електронний ресурс]. – Доступ до ресурсу: <https://www.unimag.ua/product/lifepo4-26650-32v3ah/>
13. Datasheet. K2 Series ultracapacitors. – P.1-6. [Електронний ресурс]. – Доступ до ресурсу: <https://www.tme.eu/Document/0d8c52a18b541bff20fbef5ba800818e/K2.pdf>
14. Jun L., Kockelman K., Nichols A. Anticipating the emissions impacts of smoother driving by connected connected and autonomous vehicles, using the moves model. [Електронний ресурс]. – Доступ до ресурсу: https://www.caee.utexas.edu/prof/kockelman/public_html/TRB17CAVEmissions.pdf
15. Emission Test cycles. [Електронний ресурс]. – Доступ до ресурсу: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.php>
16. Dynamometer Drive Schedules. [Електронний ресурс]. – Доступ до ресурсу: <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>

17. Wang B., Xu J., Cao B., Zhou X. A novel multimode hybrid energy storage system and its energy management strategy for electric vehicles // *Journal of Power Sources*. – 2015. – Vol. 281. – P. 432 – 443.
18. Song Z., i J., Han X, Xu L., Lu L., Ouyang M., Hofmann H.. Multi-objective optimization of a semi-active battery/supercapacitor energy storage system for electric vehicles // *Applied Energy*. – 2014. – Vol. 135. – P. 212–224.
19. Гряник Г.М. Охорона праці. / Київ: Урожай, 1994. 272 с.
20. Панкратов О.М., Міляєв О.К. Безпека життєдіяльності людини у надзвичайних ситуаціях. / Київ: КНЕУ, 2005. 237 с.
21. Жидецький В.Н., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. / Львів: Афіша, 2001. 349 с.
22. Бориченко О. В., Находов В. Ф.. Енергетичний менеджмент. Частина 2/ Електронне мережне навчальне видання. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 224 с.