

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет літакобудування

Кафедра автомобілів та транспортної інфраструктури

## Пояснювальна записка до дипломної роботи

(тип кваліфікаційної роботи)

магістр

(освітній ступінь)

на тему «Оптимізація системи керування режимами руху гібридного автомобіля.»

XAI.107.163т.24В.274. 1801062.ПЗ

Виконав: здобувач (ка) 2 курсу групи № 163т

Галузь знань 27 Транспорт

(код та найменування)

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

(код та найменування)

Освітня програма Автомобілі та автомобільне господарство

(найменування)

Князєв В. І.

(прізвище та ініціали здобувача (ки))

Керівник: Кобріна Н.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Аргун Щасяна Валіковна

(прізвище та ініціали)

Харків – 2024

Міністерство освіти і науки України  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет Літакобудування  
(повне найменування)  
Кафедра № 107 «Автомобілів та транспортної інфраструктури»  
(повне найменування)  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Галузь знань 27 Транспорт  
(код та найменування)  
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»  
(код та найменування)  
Освітня програма Автомобілі та автомобільне господарство  
(найменування)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**В.о. завідувач кафедри**

Наталія КОБРИНА

(підпис) (ініціали та прізвище)  
«20» січня 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Князєв Вадим Ігорович  
(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи «Оптимізація системи керування режимами руху гібридного автомобіля»  
керівник кваліфікаційної роботи к.т.н., доцент Кобрина Наталія Віталіївна  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом Університету №11530-уч від «31» « 10 » 2023 року
2. Термін подання здобувачем кваліфікаційної роботи 19.01.2024 року
3. Вихідні дані до роботи Електронні ресурси з проектування інноваційної матеріально-технічної бази. Довідкова література з питань охорони праці, Наукові джерела з розрахунку вартості основних виробничих фондів.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати)  
Оптимізація системи керування режимами руху гібридного автомобіля
5. Перелік графічного матеріалу презентація у вигляді слайдів в кількості 15 шт.

## 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітичний розділ	к.т.н., доцент Кобріна Н.В.	10.10.2023	31.10.2023
Практичний розділ	к.т.н., доцент Кобріна Н.В.	31.11.2023	10.01.2024

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ Наталія КОБРИНА  
(підпис) (ініціали та прізвище)

« 16 » січня 2024р.

7. Дата видачі завдання « 10 » жовтня 2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Аналітична частина	31.10.23	
2	Практична частина	25.11.23	
3	Оформлення пояснювальної записки	01.12.23	
4	Подання дипломної роботи до кафедри	10.12.23	

Здобувач \_\_\_\_\_

Князєв В. І.

(підпис)

(ініціали та прізвище)

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

Кобріна Н. В.

(підпис)

(ініціали та прізвище)

)

## РЕФЕРАТ

Дипломний проект магістра: 102 сторінка, 10 рисунків, 18 таблиць та 9 джерел.

У проекті представлено розробку системи управління режимами руху гібридного автомобіля на базі послідовно-паралельної схеми. Розроблена та змодельована у програмному середовищі MATLAB SIMULINK. Вибрані пристрої живлення, елементи та датчики системи. Розроблено структурну та електричну принципову схему, алгоритм режимів руху. Розглянуто режими руху гібридної установки. В економічній частині визначається обґрунтування вибору аналога, порівнюється вартість оцінки аналога, розрахунки ціни на розробку, розрахунок техніко-економічних показників розробки. Розглядаються питання безпеки життєдіяльності.

## SUMMARY

The project presents the development of the system mode control the hybrid vehicle based on the series-parallel circuit. Designed and modeled in the software environment MATLAB SIMULINK. Selected power devices, sensors and system elements. The structural and electrical schematics, algorithm modes of movement. Considered regimes of hybrid installation. In an economic part the cost a wage fund of personnel, price system and also calculation point capital by method CVP-analyze are performed. Questions on safety of ability to live are considered.

## ЗМІСТ

Вступ	
. Огляд по темі та визначення структурної схеми	
1 Огляд існуючих аналогів гібридних схем	
2 Вибір датчиків	
3 Двигун внутрішнього згоряння	
4 Мотор-генератор	
5 Вибір перетворювача напруги	
6 Високовольтна батарея	
7 Пристрій розподілу потужності	
8 Лінійний графік роботи планетарної передачі	
9 Система управління гібридною установкою	
Розробка системи керування рухом гібридного автомобіля	
1 Принципова схема	
2 Режими руху гібридного автомобіля	
3 Алгоритм режимів руху	
Моделювання гібридної установки у SIMULINK	
Техніко-економічне обґрунтування проекту	
1 Аналіз співвідношення витрат та прибутку	
2 Розрахунок витрат на етапі проектування	
3 Розрахунок вартості матеріалів та комплектуючих системи	
4 Розрахунок собівартості та ринкової ціни	
5 Графічний метод CVP-аналізу	
Безпека та екологічність проекту	
1 Системний аналіз надійності та безпеки системи	
2 Розробка заходів щодо підвищення надійності та безпеки	

3 Пожежна безпека під час виробництва та монтажу пристрою	
4 Захист навколишнього середовища	
Висновок	
Список літератури	

## ВСТУП

Погіршення екологічної обстановки, обумовлене шкідливим впливом автотранспорту, у містах носить катастрофічний характер, насамперед у зв'язку із забрудненням повітряного басейну викидами шкідливих речовин автомобільних двигунів, тому пріоритетним завданням проектування міських автомобілів є зниження кількості викидів шкідливих речовин та покращення паливно-економічних показників проєктованих автомобілів .

Гібридний автомобіль – високоекономічний автомобіль, що рухається системою «електродвигун – двигун внутрішнього згорання» (далі двигун), що живиться як паливом, так і зарядом електричного акумулятора. Головна перевага гібридного автомобіля – зниження витрати палива та шкідливих вихлопів. Це досягається повним автоматичним керуванням режиму роботи системи двигунів за допомогою бортового комп'ютера, починаючи від своєчасного відключення двигуна під час зупинки в транспортному потоці, з можливістю продовження руху без його запуску, виключно на енергії акумуляторної батареї, і закінчуючи складнішим механізмом рекуперації – використання електродвигуна як генератора електричного струму поповнення заряду акумуляторів.

У світлі викладеної проблеми слід висновок, що тема дипломного проєкту "Розробка системи управління рухом гібридного автомобіля" актуальна для теперішнього часу.

**Об'єктом досліджень** є електроустаткування автомобіля.

**Предмет досліджень** – система управління рухом гібридним автомобілем.

**Метою дипломного проєкту** є розробка такої системи управління рухом гібридним автомобілем, яка забезпечить найкращий розподіл енергії в гібридній силовій установці, за найменших витрат і забезпечення безпеки та екології.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- навести огляд сучасних датчиків;



- навести огляд існуючих гібридних схем;
- розробити загальний алгоритм роботи системи;
- розробити схему електричної принципової пристрої та елементів живлення;
- розробити алгоритм режимів руху;
- розрахувати собівартість системи її ринкову ціну;
- вибрати спосіб визначення безбитковості реалізації системи, у якій настає окупність витрат і є прибуток;
- провести системний аналіз надійності та безпеки;
- розробити заходи щодо безпеки, дерево причин відмов;
- визначити небезпечні фактори для навколишнього середовища та заходи щодо захисту.

Практична цінність робота полягає в тому, що представлена система може раціональніше розподіляти як електричну, так і механічну енергію.

Методичним забезпеченням дипломної роботи є науково-технічна, періодична література, довідники, нормативні документи ДСТУ.

# 1 ОГЛЯД ПО ТЕМІ ТА ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

## 1.1 Огляд існуючих аналогів гібридних схем

Відомі три варіанти гібридних силових установок:

Послідовна схема.

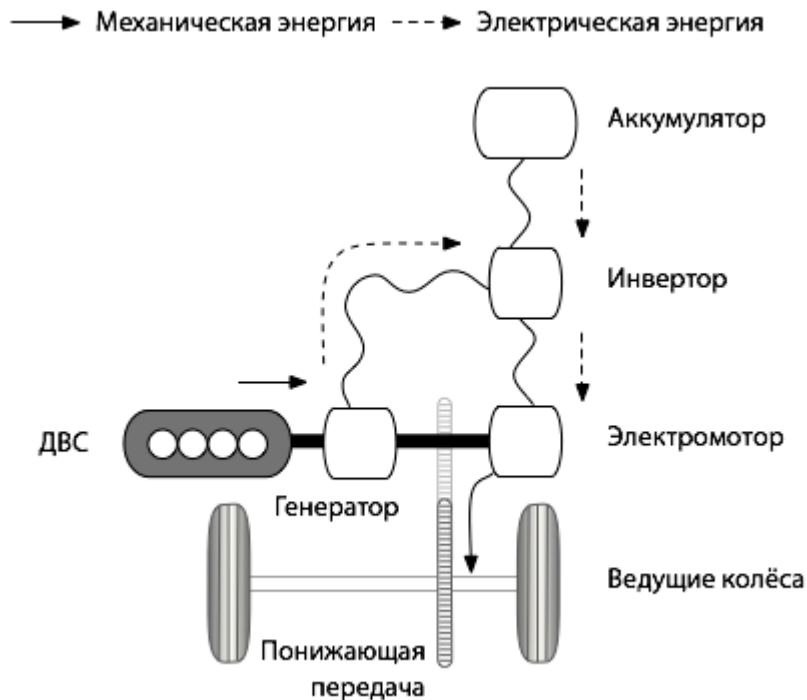


Рисунок 1.1 – Схема гібридної установки послідовного типу

ДВЗ працює тільки на генератор, при цьому вибирається режим мінімальної витрати палива. Енергія, що виробляється генератором, подається або на тяговий електродвигун, або накопичувач енергії і на тяговий електродвигун, або тільки накопичувач енергії. Тяговий електродвигун забезпечує весь необхідний силовий та швидкісний діапазони транспортного засобу та при його уповільненні працює в режимі генератора, забезпечуючи рекуперацію енергії гальмування.

Перевагами послідовної схеми є: можливість роботи первинного двигуна

(ДВЗ) у постійному режимі мінімальної витрати палива, простота управління силовою установкою, відсутність спеціальних вузлів трансмісії. До недоліків слід віднести занадто малий ККД системи перетворення енергії від двигуна внутрішнього згоряння до приводних коліс. Така схема застосовується на Toyota Coaster Hybrid та різних автобусах, оснащених гібридними силовими установками.

Паралельна схема.

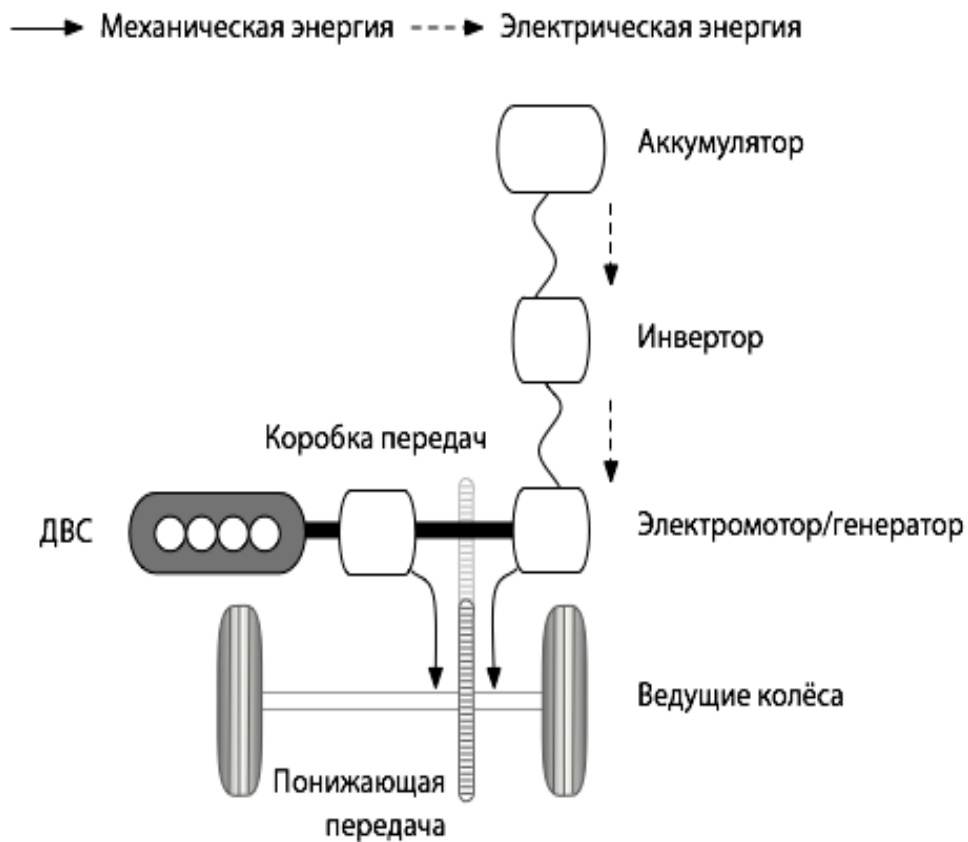


Рисунок 1.2 – Схема гібридної установки паралельного типу

ДВЗ та тяговий електродвигун (ТЕД), що живиться від акумуляторної батареї (АБ) через трансмісію, пов'язані з провідними колесами. Перевагою паралельної схеми є більш високий ККД передачі енергії від первинного двигуна до провідних коліс, у порівнянні з послідовною схемою, та можливість застосування однієї електромашини замість двох.



двигун. Особливо важливо відзначити, що технічні характеристики двигуна внутрішнього згорання та електричного двигуна сильно відрізняються. Двигун внутрішнього згорання має максимальний момент, що крутить, тільки при досить високих оборотах, а електричний двигун розвиває максимальний крутний момент на найнижчих оборотах обертання. Спільна робота ДВЗ та електродвигуна забезпечує необхідні динамічні якості автомобіля, навіть при застосуванні ДВЗ меншої потужності.

Послідовно-паралельна схема.

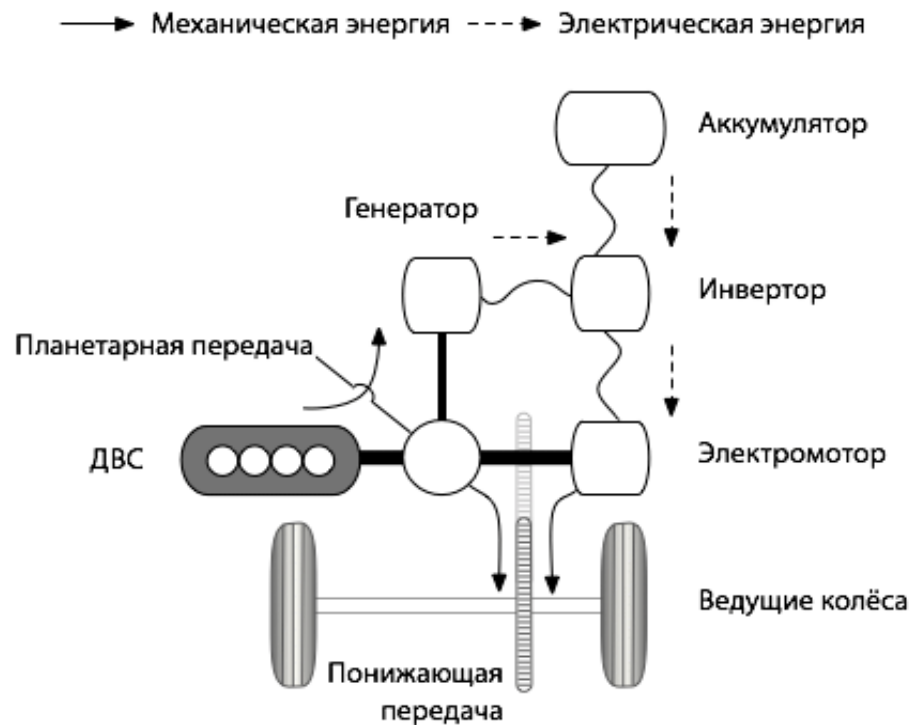


Рисунок 1.4 – Схема послідовно-паралельної гібридної установки

Ця система поєднує послідовну гібридну систему з паралельною для отримання максимальних переваг від обох систем. Вона має два двигуни, і в залежності від умов руху використовує тільки електродвигун або приводиться в рух спільно з ДВЗ для досягнення високого рівня ефективності. Надалі, коли це необхідно, система надає рух колеса, одночасно виробляючи електрику,

здіявши генератор. Така система використовується на Toyota Prius, Estima Hybrid та Lexus RX400h. У послідовно-паралельному гібриді (Toyota Hybrid System), планетарний дільник потужності розділяє силовий потік, що йде від двигуна так, що співвідношення потужності, що надходить безпосередньо на колеса, що йде на генератор може плавно змінюватися. Оскільки електродвигун може працювати на електроенергії, що виробляється, то він використовується більше, ніж при паралельній схемі.

Система HSD встановлюється на хетчбеку Toyota Prius, седані бізнес-класу Camry, всіх шляховиках Lexus RX400h, Toyota Highlander Hybrid, Harrier Hybrid, спортивному седані Lexus GS 450h та автомобілі люкс-класу – Lexus LS 600h. Ноу-хау компанії Toyota куплено компаніями Ford і Nissan і використано при створенні Ford Escape Hybrid та Nissan Altima Hybrid. Toyota Prius лідирує з продажу серед усіх гібридів. Витрата бензину у місті становить 4 л на 100 км пробігу. Це перший автомобіль, у якого споживання палива під час руху у місті менше, ніж на шосе. На Паризькому автосалоні 2008 року була представлена модель Prius plug-in hybrid.

З усього сказаного можна дійти невтішного висновку, що, напевно, немає сенсу вважати гібридні автомобілі рішенням всіх проблем. Це скоріше проміжний етап на шляху до майбутньої машини із нульовим викидом шкідливих речовин. Гібридні технології дають можливість відпрацювати її ключові технічні компоненти - компактні ємні акумулятори, оптимізовані системи «повторного використання» енергії, технологію швидкої зарядки від зовнішніх джерел, нові електродвигуни, полегшені кузова. Тільки масове виробництво цих вузлів зможе наблизити той час, коли замість поїздки на заправку достатньо буде підключити залізного коня на годинку до звичайної домашньої електромережі – а потім їздити цілий день без заряджання.

## **1.2 Вибір датчиків**

### **Високоточний датчик струму.**

Проблеми довкілля, такі як глобальне потепління, забруднення повітря тощо, перебувають під пильною увагою вчених. Розроблено гібридні автомобілі, що дозволяють знизити навантаження на екологію завдяки зменшеному викиду відпрацьованих газів та споживають менше палива. У міру зниження вартості виробництва гібридних автомобілів попит на них невідомо зростає. Крім цього, здійснюються спроби популяризувати електромобілі та автомобілі на паливних елементах, які мають нульові викиди шкідливих речовин в атмосферу.

### **Вимоги до автомобільних датчиків струму.**

Для гібридів, електромобілів та авто на паливних елементах, що вносять відчутний внесок у боротьбу за чистоту навколишнього середовища, а також для двигунів з вбудованим джерелом живлення необхідна така функція, як здатність системи відстежувати та точно контролювати струм електромотора в режимі руху та струму заряду/розряду акумуляторної батареї батареї. Кількість датчиків як ключових компонентів, що слугують «очима» системи моніторингу, на борту таких автомобілів значно зростає. У таблиці 1.1 представлено порівняння найпоширеніших над ринком датчиків струму. Кожен з них має свої переваги та недоліки в точності, ізоляційних властивостях, типі вимірюваного струму, кількості компонентів, споживанні струму та вартості. Вибір типу датчика обумовлений конкретним застосуванням та специфічними вимогами.

Таблиця 1.1 – Основні типи датчиків струму

Метод виміру	Метод резисторного шунту	Метод струмового трансформатора	Магніто-пропорційний метод	Метод магнітного балансу
Чутливий елемент	Резисторний шунт	-	Датчик холу	Датчик холу
Точність	Низька	Дуже низька	Висока	Дуже висока
Ізоляція	Дуже низька	Висока	Висока	Висока
Вимірюваний струм	АС/DC	АС	АС/DC	АС/DC
Кількість компонентів	Велике	Середнє	Середнє	Низьке
Споживання струму	Середнє	Низьке	Низьке	Середнє
Вартість	Низька	Низька	Середня	Висока

#### **Вимоги до автомобільних датчиків.**

Акумуляторні батареї автомобіля забезпечують живлення постійним струмом, але в транспортних засобах також використовується змінний струм. Тому є необхідність вимірювати обидва типи струму і, отже, струмовий трансформатор, який не може вимірювати постійний струм, не придатний для використання.

#### **Висока точність.**

Контроль струмів інвертора та ЕД гібридного автомобіля, особливо струмів заряду/розряду акумулятора, здійснюється методом розрахунку на підставі даних від кількох датчиків. Похибки вимірювань всіх датчиків підсумовуються, а це означає, що в даному застосуванні до точності показань висуваються високі вимоги. Більш того, датчик струму повинен мати високу точність вимірювання в широкому температурному діапазоні. Ця вимога робить непридатними в умовах струмовий трансформатор і резисторний шунт.

#### **Високі ізоляційні властивості.**

У більшості випадків на автомобілях використовуються високовольтні



аккумуляторні батареї (АБ) напругою кілька сотень вольт. Це означає, що є необхідність повністю ізолювати АБ від низьковольтних електричних ланцюгів і блоків керування, а отже, датчик струму, який розділяє високо- та низьковольтну частину, має бути безконтактним та низькоіндуктивним. Неізольований резисторний шунт у таких випадках можна використовувати тільки якщо його доповнити трансформатором або оптопарою, а це призведе до непотрібного ускладнення схеми.

### **Висока надійність.**

Автомобільні стандарти встановлюють жорсткі вимоги до обладнання за умов впливу електростатичної електрики, імпульсних перешкод, різких перепадів температури, вібрації та ударних навантажень. Японська компанія TDK розробила датчик струму SAA-200, перший однойменної серії. Він був встановлений на багато автомобілів та отримав високу оцінку за свою стабільну роботу у складі системи.

### **Особливість датчика SAA-200.**

Для досягнення необхідної точності найбільш підходящими є магнітопропорційний метод та метод магнітного балансу. Компанія TDK у своїх датчиках використовувала метод магнітного балансу, оскільки дозволяє досягти максимальної точності.

Принцип роботи цього методу полягає в наступному. У повітряний зазор сердечника з магнітом'якого матеріалу з високою проникністю міститься датчик Холла. Магнітний потік  $B_1$ , що пронизує датчик Холла, збільшується або зменшується пропорційно вимірюваному струму (кабелю, струмової шини і т. д.), що проходить крізь сердечник. Сигнал від датчика Холла подається на операційний підсилювач, вихід якого з'єднаний з котушкою зворотного зв'язку, що тече струм зворотного зв'язку, що викликає зустрічний магнітний потік  $B_2$ . Обмотка зворотного зв'язку зроблена так, щоб магнітний потік  $B_2$  дорівнював  $B_1$ .

$$N_1 = I_2 \cdot N_2.$$

Якщо  $I_1 = 200$  А,  $N_1 = 1$  виток,  $N_2 = 4000$  витків, маємо:  $200 \cdot 1 = I_2 \cdot 4000 = 200$  А. Звідси отримуємо  $I_2 = 0,05$  А.

Це означає, що через вимірювальний резистор протікає струм 0,05 А. Таким чином, струм  $I_1$ , що вимірюється, визначається шляхом вимірювання напруги на резисторі. Цей загальноприйнятий метод забезпечує відмінну стабільність та точність.

Лінійність вихідної характеристики.

При використанні магніто-пропорційного методу магнітний потік в осерді зростає пропорційно збільшенню вимірюваного струму, і межа вимірювання струму визначається рівнем, при якому відбувається насичення осердя

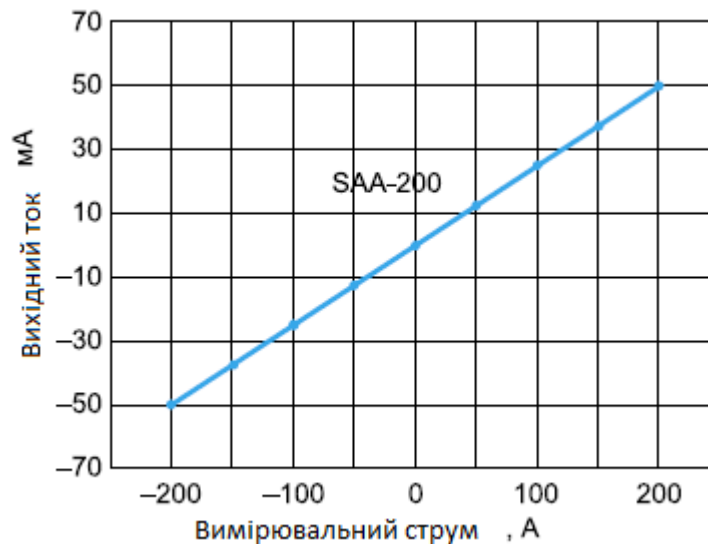


Рисунок 1.7 – Приклад вихідної характеристики

На відміну від цього при використанні методу магнітного балансу магнітний потік всередині сердечника дорівнює нулю - завдяки магнітному потоку, що зрівнює, викликаному дією котушки зворотного зв'язку, як описано вище.

Таблиця 1.2 – Порівняння датчиків поточного та нового покоління

Параметри	Поточне покоління датчиків	Нове покоління датчиків струму
Метод	Магнітний баланс	Магнітний баланс
Напруга ШІ	$\pm 12\text{В}$	$+ 5\text{В}$
Вихідний параметр	Вихідний струм	Вихідна напруга
Приклади	$+ 200\text{А} \rightarrow +50\text{мА}$	$+ 200\text{А} \rightarrow +4.5\text{В}$
	$0\text{А} \rightarrow 0\text{мА}$	$0\text{А} \rightarrow +2.5\text{В}$
	$-200\text{А} \rightarrow -50\text{мА}$	$-200\text{А} \rightarrow +0.5\text{В}$

Магнітне насичення відсутнє навіть при вимірі великих струмів, і лінійність вихідної характеристики завжди дуже хороша і не залежить від лінійності характеристики датчика Холла.

### **Температурна стабільність.**

Коефіцієнт посилення датчика Холла в сильному магнітному полі залежить від температури навколишнього середовища, тому і точність вимірювання струму також залежить від температури. Однак на датчик струму, зроблений методом магнітного балансу, впливає тільки температурний зсув, а в цілому температурна характеристика близька до ідеальної і забезпечує високу точність вимірювання в широкому температурному діапазоні.

### **Подальший розвиток.**

Напруга джерел живлення в 5 стає загальноприйнятим для останнього покоління електронних блоків управління. Крім того, щоб відповідати вимогам ринку, замість джерел струму все частіше використовують джерела напруги через простоту їх використання. У той самий час діапазон вимірювання струму планується розширити з  $\pm 200$  до  $\pm 300$  А. Особливості датчиків SAA-200.

- вихідна характеристика з відмінною стійкістю до перешкод;
- висока точність вимірювань, що не залежить від величини вимірюваного струму та навколишньої температури;
- безконтактний метод, що забезпечує повну ізоляцію від струмопровідних шин (електричних дротів).

Будучи встановленим на транспортні засоби датчик успішно пройшов тести на надійність.

### 1.3 Двигун внутрішнього згоряння

#### За основу було взято двигун 1NZ-FXE.

Двигун 1NZ-FXE був виготовлений найпершим у всій серії. Його виробництво було розпочато у Японії. Діаметр циліндра становить 75 мм, а перебіг поршня 84,7 мм. На нього встановлювалися ковані шатуни та алюмінієвий впускний колектор. Ступінь стиску дуже високий і становить 13:1. Разом із високим ступенем стиснення впускні клапани закриваються із запізненням, чим симулюється цикл Аткинсона, а не звичайний цикл Отто. Що у свою чергу позитивно впливає на ефективність двигуна.

Через те, що впускний клапан закривається із запізненням у впускний колектор, повертається частина суміші з циліндра, це негативно позначається на потужності, але позитивно на ефективності та екологічності. Така комбінація 1NZ-FXE відмінно підходить для використання на так званих "гібридних" автомобілях HSD (Hybrid Synergy Drive), на яких пік моменту, що крутить, і потужності мають менше значення. Потужність цього агрегату становить 76 л.с. при 5000 оборотах на хвилину і 115 Н · м при 4000 оборотах на хвилину.

Таблиця 1.3 - Технічні характеристики 1NZ-FXE

Кількість циліндрів	4
Розташування циліндрів	Рядне
Клапани	VVT-i, DOHC 16V
Об'єм двигуна, л(куб. см)	1,5 л(1497)
Потужність, л.с.(Н · м)	76(115)
Система упорскування	EFI, розподілена
Система запалювання	DIS-4

#### Двигун працює за циклом Аткинсона.

У першому невеликому двигуні такого типу, запущеному в комерційне виробництво, революційна технологія EXlink від компанії характеризуватиметься довшим тактом розширення порівняно з тактом

стиснення, щоб ступінь розширення був більшим за ступінь стиснення.

Порівняно зі стандартним двигуном Отто, в якому довжини ходу поршнів мають практично однакове значення, EXlink характеризується тим, що хід розширення та випуску виявляється більшим, ніж хід впуску та стиснення. В результаті ступінь розширення більш ніж у 1,4 рази перевищує ступінь стиснення EXlink, забезпечуючи менші насосні втрати та значно вищий термічний ККД у порівнянні зі стандартним двигуном.

У XIX столітті двигун Аткинсона відрізнявся винятковою економією палива, проте через свою складну архітектуру він був непростий у виготовленні в невеликому масштабі і тому зник з рядів двигунів, що розробляються.

Говорячи про двигун Аткинсона мають на увазі "цикл Аткинсона" - модифікований цикл Отто чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння, запропонований англійським інженером Джеймсом Аткинсоном в 1886 році. Аткинсон змінив співвідношення часів тактів циклу Ніколауса Отто.

У двигуні Аткинсона робочий хід (3-й такт циклу Отто) було збільшено за рахунок ускладнення кривошипно-шатунного механізму, тоді, у XIX столітті, двигун поширення не отримав через складну механіку. У нинішньому столітті двигун Аткинсона з комп'ютерним регулюванням часів тактів застосовується на автомобілях Toyota Prius, Lexus HS 250h, Lexus CT 200h, американському Ford Fusion, хоча застосований там принцип більше нагадує цикл Міллера.

Цикл Аткинсона дозволяє отримати найкращі екологічні показники та економічність, але потребує високих оборотів. На малих оборотах двигун видає порівняно малий момент і може затихнути.

Бензиновий двигун Toyota Prius працює за циклом Аткинсона зі стисненням 13:1 на звичайному бензині (AI-95). Час закриття впускного клапана, обороти та навантаження на двигун контролює бортовий комп'ютер. На цій машині застосування двигуна Аткинсона особливо вигідне, тому що на малих обертах він не навантажується.

Практично на цьому автомобілі використаний не мотор Аткінсона, а його спрощений аналог, побудований за принципом циклу Міллера. Prius розганяється електромотором, який видає повний момент у широкому діапазоні обертів.

### **Ці двигуни даної моделі мають змінний ступінь стиснення.**

Цей параметр фахівці вважають одним із головних у двигуні. Адже чим вищий ступінь стиснення, тим більша потужність, ККД мотора і краще його економічність. Тому, що сучасніше ставали ДВС, то більше в них ставала ступінь стиснення. Але останнім часом така тенденція практично припинилася. Справа в тому, що нескінченно збільшувати цей параметр теж не можна, інакше в циліндрах відбуватиметься вибухове, неконтрольоване згоряння робочої суміші. Іншими словами – детонація, яка може призвести навіть до руйнування двигуна.

Причому особливо чутливі до підвищення стиснення мотори з наддувом. Адже у них навантаження на деталі більше, вони сильніше нагріваються і ризик появи детонації відповідно вищий. Тож ступінь стиснення доводиться знижувати. При цьому відповідно падає ефективність двигуна.

Таким чином, в ідеальному випадку ступінь стиснення повинен плавно змінюватись в залежності від режиму роботи та навантаження на мотор. Про це замислилися ще у середині минулого століття. З'явилося безліч проектів оригінальних конструкцій, у яких, по суті, була одна спільна риса - складність, дорожнеча і як наслідок, непридатність до серійного виробництва.

## 1.4 Мотор-генератор

Як електричний двигун був обраний мотор-генератор з автомобіля Toyota Prius, даний вибір є вдалим рішенням.

У трансмісії автомобіля Prius використовуються дві електричні машини, найчастіше звані мотор-генераторами. За конструкцією мотор-генератори практично не відрізняються один від одного, але вони відрізняються за розмірами. Обидва мотор-генератори є електричними трифазними синхронними електромашинами змінного струму з збудженням від постійних магнітів. Звучить трохи заплутано, насправді значно простіше. Ротор мотор-генератора ( деталь, що обертається, з'єднана з валом), по суті є постійним магнітом і не має жодних обмоток або електричних з'єднань. А в статор (нерухома частина мотор-генератора) вбудовано три комплекти обмоток. Під час руху струму в одному напрямку через один комплект обмоток ротор переміщається у певне положення. При напрямку струму по черзі через всі три комплекти обмоток спочатку в одному напрямку, а потім у протилежному, змушує ротор переміщатися з одного положення до іншого, здійснюючи обертальний рух. Зрозуміло, це опис роботи синхронного трифазного двигуна дуже примітивно, але дозволяє мати деяке уявлення про роботу мотор-генератора.

Але мотор-генератор може працювати у режимі електродвигуна, а й у режимі генератора. При обертанні валу мотор-генератора від стороннього джерела механічної енергії в комплектах статора обмоток індуктується електричний струм, який можна використовувати, як для зарядки високовольтної акумуляторної батареї, так і для живлення іншого електричного двигуна.

Мотор-генератор 1 (MG1) з'єднаний із сонячною шестернею дільника потужності (планетарний механізм). Мотор-генератор (MG1) меншим з двох має максимальну потужність 18 кВт. Мотор-генератор MG1 зазвичай застосовується для запуску ДВС або для регулювання швидкості обертання двигуна

внутрішнього згоряння за рахунок зміни електричного навантаження (кількості електричної енергії, що виробляється) на цей генератор. Мотор генератор 2 (MG2) з'єднаний з корончастою шестернею дільника потужності і, отже, має механічне з'єднання через одноступінчастий механічний редуктор з провідними колесами автомобіля. Тому MG2 має можливість рухати автомобіль. Максимальна потужність MG2 більша за максимальну потужність MG1 і дорівнює 50 кВт. Іноді MG2 називають тяговим електродвигуном, призначення якого - привід автомобіля або регенерація енергії при гальмуванні автомобіля. Зрозуміло, у цьому випадку MG2 перемикається у режим роботи генератора. Обидва мотор-генератори мають рідинне охолодження.

### **1.5 Вибір перетворювача напруги**

Інвертор складний електронний пристрій, призначений для:

- перетворення постійного струму високовольтної батареї (HV battery) на трифазний струм для роботи мотор-генераторів MG 1 і MG 2 і назад;
- зворотного перетворення енергії (рекуперація,- від лат. recuperatio - зворотне отримання, повернення частини матеріалу або енергії, що витрачаються при проведенні того чи іншого технологічного процесу, для повторного використання в тому ж процесі. Що стосується питання перетворення механічної енергії в електричну. За це у блоці інвертора відповідає прилад званий «конвертором»);
- регулювання та розподілу енергії, одержуваної від MG 1;
- електронного управління мотор-генераторами MG 1 і MG 2 в залежності від режимів роботи двигуна внутрішнього згоряння на підставі узгоджених дій з іншими електронними пристроями автомобіля.

Оскільки мотори/генератори працюють від змінного трифазного струму, а батарея, як і всі батареї, виробляє постійний струм, необхідно якийсь пристрій,



щоб перетворити один вид струму на інший. Кожен MG має інвертор, який виконує цю функцію. Інвертор дізнається положення ротора від датчика на валу MG і керує струмом в обмотках двигуна так, щоб підтримувати обертання двигуна на потрібній швидкості і з необхідним моментом, що обертає. Інвертор змінює струм в обмотці, коли магнітний полюс ротора проходить повз цю обмотку і переходить до наступної. Крім того, інвертор підключає напругу батареї на обмотки і потім вимикає знову дуже швидко (з високою частотою), щоб змінити середнє значення струму і, отже, момент, що крутить.

Використовуючи "самоіндуктивність" моторних обмоток (властивість електричних котушок, які опираються зміні струму), інвертор може фактично пропустити більший струм через обмотку, ніж надходить від батареї. Він працює тільки коли напруга на обмотках менша за напругу батареї, отже, енергія зберігається. Однак, оскільки значення струму через обмотку визначає момент, що крутить, цей струм дозволяє досягти дуже великого крутного моменту на малих оборотах. Приблизно до 11 км/год, MG2 здатний створити момент, що крутить, 350 Нм (400 Нм для Prius NHW-20) на редукторі. Саме тому автомобіль може почати рух з прийнятним прискоренням без використання коробки, яка зазвичай збільшує крутний момент ДВЗ. При короткому замиканні чи перегріві інвертор відключає високовольтну частину машини. В одному блоці з інвертором розташований конвертер, який призначений для зворотного перетворення змінної напруги в постійне - 13,8 вольт.

### **Система охолодження інвертора.**

Інвертор при роботі сильно нагрівається і, якби не мав свого охолодження, то після перегріву вийшов би з ладу. У 10-му та 11-му кузовах Inverter має окремі контури охолодження та окремий радіатор. У 20-му кузові радіатор інвертора поєднали з радіатором двигуна.

Для локального охолодження інвертор має «ребра» та «плиту» охолодження.

Система охолодження інвертора включає:

- радіатор;
- водяний помпу (водяний електричний насос);
- розширювальний бачок;
- сполучні патрубки.

Роботу каскаду управління модулем IGBT наведу для модуля із трьох транзисторів. Полягає вона наступного. Сигнал управління ключами надходить на вхід драйвера (1) (на платі це мікросхеми VM122). Далі сигнал через підсилювач потужності (2) надходить на входи затворів самих самих транзисторів. У схемі передбачено обмеження пікових струмів, що проходять через кожний транзистор. Ця функція покладена на схеми струмового захисту (3), які передбачені для кожного транзистора індивідуально. Інформація про струм з кожного транзистора надходить на вхід відповідної йому схеми струмового захисту, і у разі появи кидків струму схема має «прикривати» відповідний ключ, тобто. вона працює як регулятор. Щоправда, на зображенні я вказав вимикачі. Крім того, у разі виникнення подібної ситуації із середнім транзистором, тут відбувається повне відключення всього модуля.

## **1.6 Високовольтна батарея**

Високовольтна батарея в 20-му Пріусі (Toyota Prius Gіbrid) складається з 28 модулів, у кожному з яких знаходиться 7 елементів номінальною напругою 1,2 В. Це дозволило збільшити потужність з 320 В (10 кузові) до 500 В. Підвищенню напруги сприяло також застосування спеціального устрою booster. Збільшення номінальної напруги дозволило збільшити потужність MG2 до 50 кВт.

Нікель-металогідридні акумулятори для Пріуса виробляє компанія Panasonic EV Energy (PEVE), що на 60% належить Тойоті. Батареї типу NiMH стрімко йдуть у минуле, і нове покоління літєво-іонних акумуляторів Тойоти, що

йде їм на заміну, вже проходить випробування по всьому світу. Швидше за все, автомобілі з цими батареями стануть дорожчими, але їх можна буде заряджати від побутової електромережі.

Максимальний струм батареї – 80 А при розряді та 50 А при заряді. Номінальна ємність батареї - 6,5 Ач, проте електроніка автомобіля дозволяє використовувати лише 40% цієї ємності, щоб продовжити термін служби акумулятора. Стан заряду може змінюватися лише між 35% та 90% повного номінального заряду. Перемноживши напругу батареї та її ємність, отримуємо номінальний запас енергії – 6,4 МДж (мегаджоулей), а використовуваний запас – 2,56 МДж. Цієї енергії достатньо, щоб прискорити автомобіль, водія та пасажирів до 108 км/год (без допомоги ДВС) чотири рази. Щоб зробити таку кількість енергії, ДВЗ знадобилося б приблизно 230 літрів бензину. (Ці цифри наводяться тільки для того, щоб Ви становили кількість накопиченої енергії в батареї.)

Автомобілем не можна керувати без палива, навіть якщо стартувати з 90% повного номінального заряду з довгого спуску. Більшість часу у вас є приблизно 1 МДж придатної для споживання енергії батареї. Дуже багато ВВБ потрапляє в ремонт саме після того, як у власника закінчується бензин (при цьому на табло загориться піктограма "Check Engine" ("Перевір двигун") і трикутник із знаком оклику), але власник намагається "дотягнути" до заправки. Після падіння напруги на елементах нижче 3 - вони "вмирають". На 20 кузові японські інженери збільшення потужності пішли іншим шляхом: вони знизили кількість елементів до 168, тобто. залишили 28 модулів. Але для використання в інверторі напруга батареї підвищується до 500 за допомогою спеціального пристрою - booster. Збільшення номінальної напруги MG2 у кузові NHW-20 дозволило підвищити його потужність до 50 кВт без зміни габаритів.

## 1.7 Пристрій розподілу потужності

А як трансмісію було обрано Дільник потужності (PSD), основним компонентом трансмісії автомобіля Prius є планетарний механізм, який Toyota використовує як Дільник потужності Power Split Device (PSD).

Планетарний механізм, який іноді називають планетарним рядом, в автомобілебудуванні пристрій дуже поширений. У будь-яку автоматичну коробку вбудовано кілька планетарних механізмів.

Залежно від необхідного навантаження шестерні обертаються з певною частотою та у певному напрямку.

Втрати в цій коробці мінімальні, як і її габарити, що дозволяє раціональніше використовувати потужність.

Цей механізм називається планетарним, оскільки має кілька розташованих по колу (сателітних) шестерень, що обертаються навколо центральної шестерні, що називається сонячною. Сателітні шестірні вільно обертаються на осях, закріплених на воді сателітних шестерень, що також обертається навколо загальної осі планетарного механізму, навколо якої обертається і сонячна шестерня. Але на відміну від дійсних планет, всі сателітні шестерні мають однакові розміри і розташовані на однаковій відстані від загальної осі обертання всього механізму.

Навколо сателітних шестерен розташована зовнішня кільцева (коронна) шестерня, що знаходиться в зачепленні, за допомогою внутрішніх зубців, з усіма сателітними шестернями і також обертається, як і всі деталі планетарного механізму навколо загальної осі обертання.

Колінчастий вал двигуна внутрішнього згорання з'єднаний з водилом планетарного механізму. Оскільки сателітні шестірні мають зчеплення як з сонячною шестернею, з боку центру механізму, так і з кільцевою шестернею, з зовнішнього боку сателітних шестерень при обертанні води сателітні шестірні

намагаються повернути і сонячну, і зовнішню кільцеву шестерні в бік обертання.

Завдяки точному підбору розмірів сонячної і зовнішньої кільцевої шестерні (точніше кількості їх зубів) 72% крутного моменту передається на зовнішню шестерню (до провідних коліс), а 28% крутного моменту, що залишилися, передається на сонячну шестерню (до мотор-генератора). Зверніть увагу, не потужності, а моменту, що крутить.

## 1.8 Лінійний графік роботи планетарної передачі

Графіки залежності роботи ДВЗ, генератора та електричного мотора.

Автомобіль не заведено.

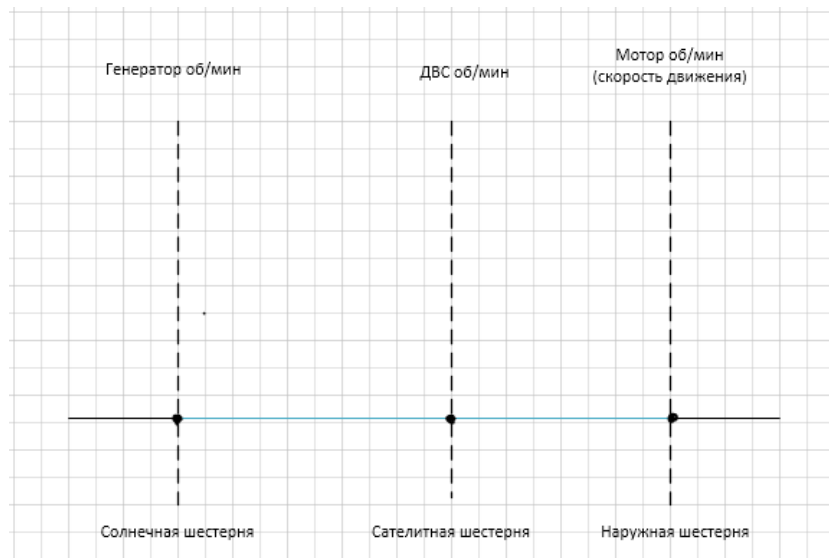


Рисунок 1.8 – графік залежності моменту, що крутить, у незаведеному стані

Двигун внутрішнього згоряння, генератор та електромотор не працюють.

Під час запуску.

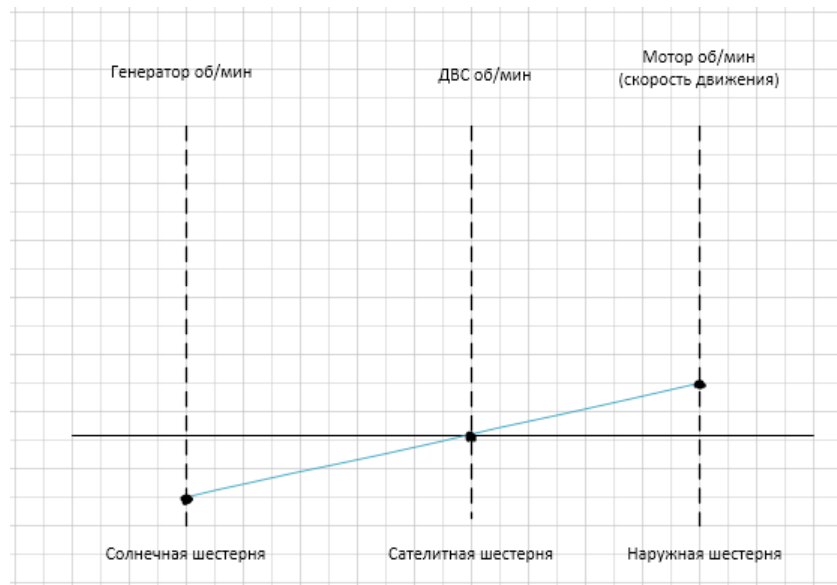


Рисунок 1.9 – Графік залежності крутного моменту під час запуску

Автомобіль при старті руху використовує лише електричний двигун. Під час розгону зі старту.

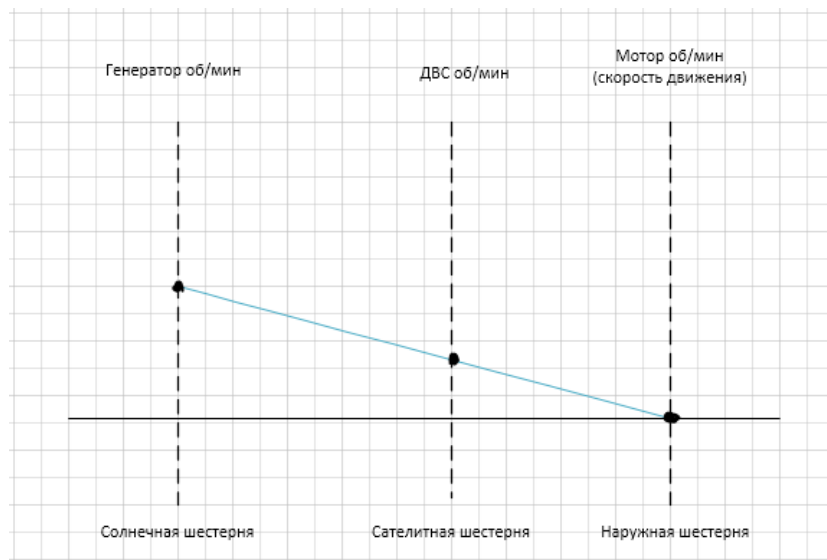


Рисунок 1.10 - Графік залежності моменту, що крутить, під час розгону

Генератор, який також має функцію стартера, обертає сонячну шестерню і запускає двигун. Коли двигун запусився, генератор починає виробляти електрику, яка заряджає батарею та допомагає електричному мотору працювати.

Під час нормального руху.

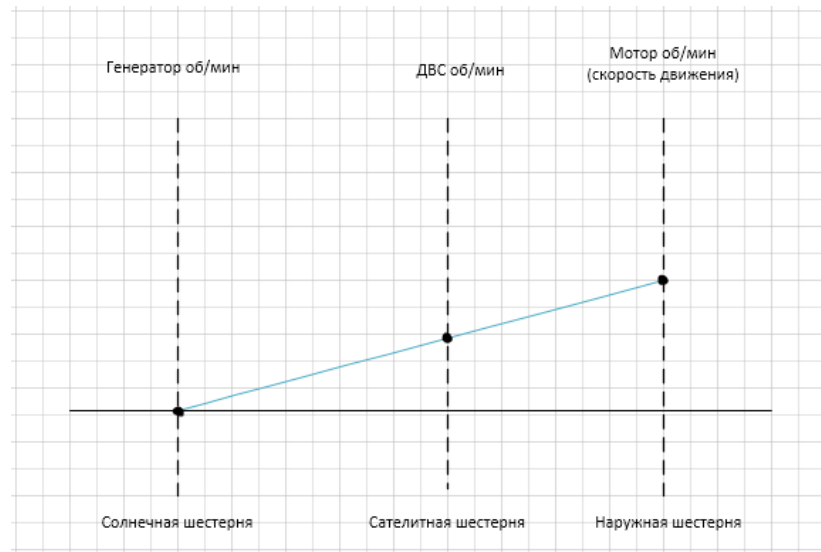


Рисунок 1.11 – Графік залежності моменту, що крутить, під час нормального руху

Здебільшого двигун внутрішнього згоряння використовується для руху. Виробництво енергії в цьому режимі не потрібне.

Під час розгону.

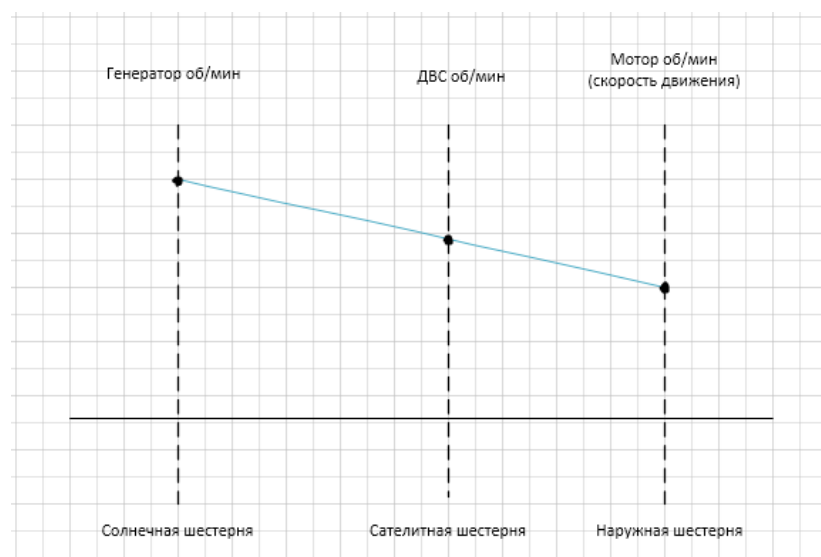


Рисунок 1.12 – Графік залежності моменту, що крутить, під час прискорення

Під час прискорення з нормальним режимом руху, обороти двигуна внутрішнього згорання збільшуються, в той же час генератор починає виробляти електрику. Використовується ця електрика та електрика з високовольтною батареї, двигун внутрішнього згорання додає своєї потужності для збільшення прискорення.

## 1.9 Система керування гібридною установкою

Система керування THS II підтримує автомобіль на максимальній ефективності за рахунок керування енергії, що використовується транспортним засобом, в яку входить енергія, що використовується для руху, а також енергія, що використовується для допоміжних пристроїв, таких як кондиціонери, нагрівачі, фари та навігаційна система.

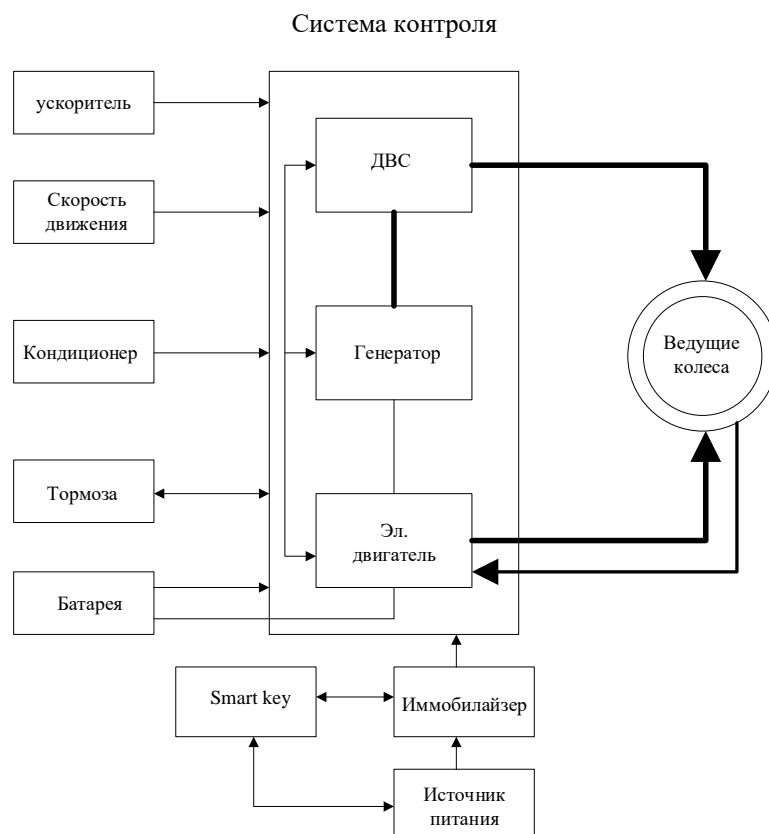


Рисунок 1.13 – Блок-схема системи управління



Система управління контролює вимоги та робочі стани компонентів гібридної системи, таких як двигун, який є джерелом енергії для всієї гібридного автомобіля; генератор , який виступає як стартер для двигуна і перетворює механічну енергію в електричну; електричний двигун, який рухає транспортний засіб з використанням електричної енергії від батареї; акумулятор , який зберігає електричну енергію, генерується електроенергію двигуном під час гальмування.

Іншими словами, система керування THS II відстежує різні режими споживання енергії транспортного засобу в реальному часі та забезпечує точний та швидкий контроль над транспортним засобом для того, щоб транспортний засіб експлуатувався безпечно та комфортно на найвищому ККД.

## 2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ

### 2.1 Принципова схема

Для цієї гібридної установки була розроблена і зроблена в MS Office Visio важлива схема.

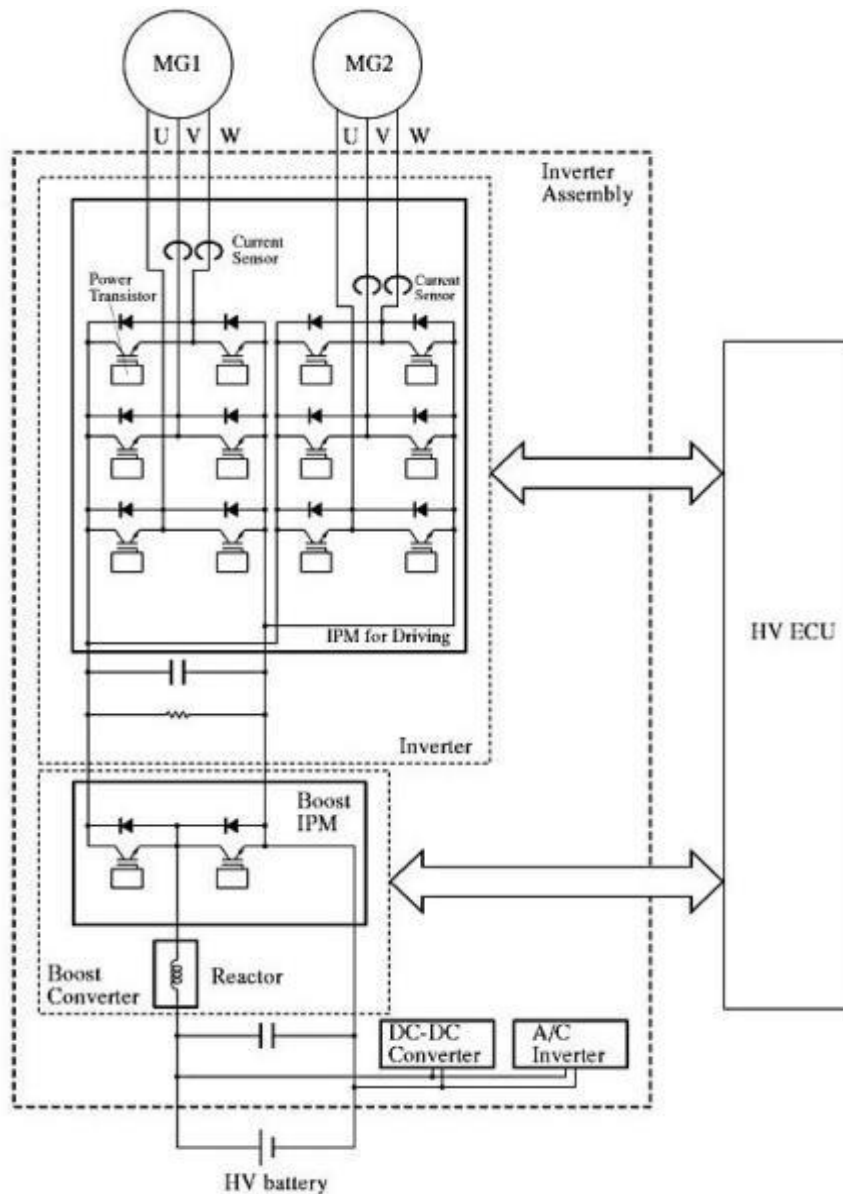


Рисунок 2.1 – Принципова схема системи керування силової гібридної установки

На рисунку 2.1 показано: HV ECU - блок управління; DC-DC конвертор; A/C інвертор; перетворюючий пристрій електричних двигунів MG1/MG2; Високовольтна батарея.

## **2.2 Режими руху гібридного автомобіля**

Робота автомобіля у різних умовах руху.

### **Запуск двигуна.**

Щоб запустити двигун, MG1 (пов'язаний із сонячною шестернею) обертається вперед, використовуючи електроенергію високовольтної батареї. Якщо автомобіль стоїть, то коронна шестерня планетарного механізму також залишатиметься нерухомою. Обертання сонячної шестерні тому змушує водило сателітів обертатися. Воно пов'язане з двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ) і повертає його в 1/3,6 швидкості обертання MG1. На відміну від звичайного автомобіля, який подає паливо та запалювання в ДВС, як тільки стартер починає його обертати, Prius чекає, поки MG1 не розжене ДВС приблизно до 1000 обертів на хвилину. Це трапляється менше ніж за секунду. MG1 значно потужніший, ніж звичайний двигун стартера. Щоб обертати ДВС із цією швидкістю, він сам повинен обертатися зі швидкістю 3600 обертів на хвилину. Старт ДВС на 1000 оборотів на хвилину не створює майже ніякої напруги для нього, тому що це швидкість, на якій ДВС був би щасливий працювати від своєї власної енергії. Крім того, Prius запускається, запалюючи лише пару циліндрів. Результат - дуже гладкий запуск, вільний від шуму та сіпання, який усуває зношування, пов'язане із запусками двигуна звичайних автомобілів. При цьому відразу зверну увагу на поширену помилку ремонтників та власників: часто мені дзвонять і запитують, що заважає ДВС продовжувати працювати, чому він заводиться секунд на 40 і глухне. Насправді, поки блимає рамочка READY – ДВС НЕ ПРАЦЮЄ! Це його крутить MG1! Хоча візуально - повне відчуття запуску ДВЗ, тобто. ДВЗ шумить,

із вихлопної труби йде дим.

Як тільки ДВС почав працювати від своєї власної енергії, комп'ютер керує відкриттям дроселя, щоб отримати відповідні холості оберти протягом розігріву. Електрика більше не живить MG1 і фактично, якщо батарея розряджена, MG1 може виробляти електрику і заряджати батарею. Комп'ютер просто формує MG1 як генератор замість мотора, відкриває дросель ДВС трохи більше (приблизно до 1200 оборотів) і отримує електрику.

#### **Холодний запуск.**

Коли ви запускаєте Prius з холодним двигуном, його головний пріоритет полягає в тому, щоб нагріти двигун і каталітичний нейтралізатор, щоб запрацювала система керування токсичністю вихлопу. Двигун буде працювати протягом декількох хвилин, поки це не станеться (як довго - залежить від фактичної температури двигуна та каталізатора). У цей час вживаються спеціальні заходи, щоб керувати вихлопом під час прогріву, включаючи збереження вихлопних вуглеводнів у поглиначі, який буде очищений пізніше та роботою двигуна у спеціальному режимі.

#### **Теплий пуск.**

Коли ви запускаєте Prius з теплим двигуном, він працюватиме протягом короткого часу і потім зупинятиметься. Неодружені обороти будуть в межах 1000 об/хв.

На жаль, неможливо перешкоджати запуску ДВС, коли Ви вмикаєте автомобіль, навіть якщо все, що Ви хочете зробити - переїхати на сусідній витяг. Це стосується лише 10 і 11 кузовів. На 20 кузові застосований інший алгоритм запуску: натискаєте на гальмо та кнопку "START". Якщо у ВВБ достатньо енергії, і Ви не включите обігрівач на обігрів салону чи скла – ДВЗ не запуститься. Просто займеться напис "READY" ( " Готовий " ), тобто. автомобіль ПОВНІСТТЮ готовий до руху. Достатньо переключити джойстик (а вибір режимів на 20 кузові виробляється саме джойстиком) в положення D або R і

відпустити гальмо, Ви поїдете!

Торкання з місця Prius знаходиться завжди на прямій передачі. Це означає, що двигун не може поодиноці видати весь момент, що крутить, щоб автомобіль енергійно рушив з місця. Крутний момент для початкового прискорення додається мотором MG2, що безпосередньо обертає коронну шестерню планетарного механізму, пов'язану з входом редуктора, вихід якого пов'язаний з колесами. Електричні двигуни розвивають кращий момент, що крутить, на низькій швидкості обертання, тому ідеально підходять для початку руху автомобіля.

Уявимо, що ДВС працює і автомобіль нерухомий, отже, мотор MG1 обертається вперед. Керуюча електроніка починає відбирати енергію з генератора MG1 та передає її на мотор MG2. Тепер, коли Ви відбираєте енергію від генератора, ця енергія повинна звідкись узятися. З'являється деяка сила, яка уповільнює обертання валу і щось, що обертає вал, має чинити опір цій силі, щоб зберегти швидкість. Опираючись цій "генераторної навантаженні", комп'ютер збільшує обороти ДВС, щоб додати додаткової енергії. Отже, ДВС крутить водило сателітів планетарного механізму сильніше, а генератор MG1 намагається уповільнити обертання сонячної шестерні. Результат – сила на коронній шестірні, яка змушує її обертатися та починати рухатися автомобіль.

Згадайте, що в планетарному механізмі крутний момент ДВЗ ділиться у співвідношенні 72% до 28% між короною та сонцем. Поки ми не натиснули педаль акселератора, ДВС тільки байдикував і не виробляв жодного вихідного моменту, що крутить. Тепер, однак, обороти додалися і 28% моменту, що крутить, обертають MG1 як генератор. Інші 72% моменту, що крутить, передаються механічно на коронну шестірню і, отже, на колеса. Одночасно з тим, що більша частина моменту, що крутить, надходить від мотора MG2, ДВС дійсно передає крутний момент до колес таким чином.

Тепер ми повинні з'ясувати, як 28% моменту ДВЗ, що крутить, який

передається до генератора MG1, можуть по можливості посилити старт автомобіля за допомогою мотора MG2. Щоб зробити це, ми повинні чітко розрізняти крутний момент та енергію. Крутний момент - це сила, що обертає, і так само, як у випадку з прямолінійною силою, не потрібно витрачати енергію на підтримку сили. Припустимо, що Ви тягнете відро води за допомогою лебідки. Вона бере енергію. Якщо лебідка обертається електромотором, ви повинні були б забезпечити його електроенергією. Але, коли Ви підняли відро нагору, Ви можете зачепити його яким-небудь гаком або стрижнем або ще чимось, щоб утримати його нагорі. Сила (вага відра), яка прикладена до мотузки, і момент, що крутить, переданий мотузкою барабану лебідки, не зникла. Але оскільки сила не переміщається, немає жодної передачі енергії, і ситуація стійка без енергії.

Аналогічно, коли автомобіль нерухомий, навіть при тому, що 72% моменту, що крутить, ДВС передають на колеса, немає ніяких потоків енергії в цьому напрямку, так як коронна шестерня не обертається. Сонячна шестерня, однак, обертається швидко, і хоча вона отримує тільки 28% моменту, що обертає, це дозволяє виробити багато електроенергії. Подібний ланцюг міркувань показує, що завдання MG2 полягає у застосуванні моменту, що крутить, до входу механічного редуктора, що не вимагає великої потужності. Багато струму має пройти через обмотки двигуна, долаючи електричний опір, і ця енергія втрачається у вигляді тепла. Але коли автомобіль переміщається повільно, ця енергія йде від MG1. Оскільки автомобіль починає переміщатися і набирає швидкість, генератор MG1 обертається повільніше і менше енергії. Однак комп'ютер може трохи додати обертів ДВЗ. Тепер більше моменту, що крутить, прибуває від ДВС і, оскільки більше моменту, що крутить, має також пройти через сонячну шестерню, MG1 може підтримати генерування енергії на високому рівні. Зменшена швидкість обертання компенсується збільшенням моменту.

Ми уникали згадки про батарею до цього місця, щоб стало зрозуміло, як вона не є обов'язковою для приведення автомобіля в рух. Однак більшість

торкань з місця - результат дій комп'ютера, що передає енергію від батареї безпосередньо до двигуна MG2.

Існують граничні обороти ДВЗ, коли автомобіль рухається повільно. Вони зумовлені необхідністю запобігти пошкодженню MG1, якому доведеться обертатися дуже швидко. Це обмежує кількість енергії, яку виробляє ДВС. Крім того, це було б неприємним для водія почути, що ДВЗ занадто збільшує оберти для плавного торкання. Чим сильніше ви натискаєте акселератор, тим більше ДВЗ збільшить оберти, але також і більше енергії надійде від батареї. Якщо втопити педаль у підлогу, приблизно 40% енергії надходять від батареї та 60% від ДВЗ при швидкості близько 40 км/год. Оскільки автомобіль прискорюється і одночасно обороти ДВЗ зростають, він дає більшу частину енергії, досягаючи приблизно 75% при 96 км/год, якщо Ви все ще давите педаль на підлогу. Як пам'ятаємо, енергія ДВС включає і те, що знято генератором MG1 і передано у вигляді електрики до двигуна MG2. При 96 км/год MG2 фактично дає більше моменту, що крутить, і, отже, більше потужності до колес, ніж поставляється через планетарний механізм від ДВС. Але більшість електроенергії, що він використовує, йде від MG1 і, отже, опосередковано від ДВС, а чи не від батареї.

### **Прискорення та їзда в гору.**

Коли потрібна велика потужність, ДВС і MG2 спільно створюють момент, що крутить, щоб вести автомобіль майже таким же способом, як описано вище для початку руху. Коли швидкість автомобіля зростає, зменшується момент, що крутить, який MG2 в змозі видати, так як він починає працювати на межі своєї потужності в 33 кВт. Чим швидше він обертається, тим менший момент, що крутить, він може видати на цій потужності. На щастя, це сумісне з очікуваннями водія. Коли звичайний автомобіль прискорюється, ступінчаста коробка перемикається на більш високу передачу і момент, що обертає, на осі зменшується так, щоб двигун міг знизити свої оберти до безпечного значення. Хоча це робиться з використанням абсолютно різних механізмів, Prius дає таке ж

відчуття, як і прискорення на звичайному автомобілі. Головна відмінність - повна відсутність "смикування" при перемиканні передач, тому що просто немає ніякої коробки передач.

Отже, ДВС обертає водило сателітів планетарного механізму. 72% його моменту, що крутить, надходить механічно через коронну шестерню до колес. 28% його крутного моменту надходять у генератор MG1 через сонячну шестерню, де він перетворюється на електрику. Ця електрична енергія живить двигун MG2, який додає деякий додатковий момент, що крутить, на коронній шестерні. Чим більше Ви натискаєте акселератор, тим більше моменту, що крутить, виробляє ДВС. Він збільшує як механічний момент, що крутить через корону, так і кількість електроенергії, виробленої генератором MG1 для мотора MG2, використовуваної, щоб додати ще більше крутного моменту. Залежно від різних факторів - таких, як стан заряду батареї, ухилу дороги і особливо від того, наскільки сильно Ви натискаєте педаль, комп'ютер може спрямовувати додаткову енергію від батареї до MG2, щоб підвищити його внесок. Ось так досягається прискорення, достатнє для руху шосе такого великого автомобіля з ДВС потужністю 78 л. с.

З іншого боку, якщо необхідна потужність не така висока, то частина електрики, що виробляється MG1, може використовуватися для заряджання батареї навіть при наборі швидкості! Важливо пам'ятати, що ДВС і крутить колеса механічно та крутить генератор MG1, змушуючи його виробляти електрику. Що відбувається з цією електрикою і чи додається електрика від батареї, залежить від комплексу причин, які ми не можемо все врахувати. Цим займається контролер гібридної системи автомобіля.

### **Рух на помірній швидкості.**

Як тільки Ви досягли стійкої швидкості на плоскій дорозі, потужність, яка повинна поставлятися двигуном, витрачається на подолання аеродинамічного опору та тертя кочення. Це набагато менше, ніж потужність, потрібна для їзди в



гору або розгону автомобіля. Щоб ефективно працювати на низькій потужності (і також не створювати багато шуму), ДВС працює з низькими оборотами.

Наступна таблиця показує, яка потужність потрібна для переміщення автомобіля на різних швидкостях на горизонтальній дорозі та приблизних обертах.

Таблиця 2.1 – Розподіл потужності на різних швидкостях

Швидкість автомобіля, км/год	Необхідна для руху потужність, кВт	Оберти ДВС, об/хв	Оберти генератора MG1, об/хв
64	3,6	1300	-1470
80	5,9	1500	-2300
96	9,2	2250	-3600

Висока швидкість автомобіля та низькі обороти ДВЗ ставлять пристрій розподілу потужності в цікаве положення: генератор MG1 повинен тепер обертатися назад, як видно з таблиці. Повертаючись назад, він змушує сателіти обертатися вперед. Обертання сателітів складається з обертанням водила (від ДВЗ) і змушує коронну шестерню обертатися набагато швидше. Ще раз наголошу, що відмінність полягає в тому, що в більш ранньому випадку ми були раді за допомогою високих оборотів ДВС отримати більшу потужність, навіть пересуваючись із меншою швидкістю. У новому випадку ми хочемо, щоб ДВЗ залишився на низьких оборотах, навіть якщо ми розігналися до пристойної швидкості, щоб встановити більш низьке споживання потужності з високою ефективністю.

Ми знаємо з розділу про пристрої розподілу потужності, що генератор MG1 повинен проявити зворотний момент, що крутить, на сонячній шестірні. Це хіба що точка опори важеля, з допомогою якого ДВС обертає коронну шестерню (отже, колеса). Без опору MG1 ДВС просто обертав би MG1 замість того, щоб приводити в рух автомобіль. Коли MG1 обертався вперед, було легко бачити, що

цей зворотний момент, що обертає, міг створюватися генераторним навантаженням. Отже, електроніка інвертора повинна була забирати енергію від MG1, і тоді з'являвся зворотний момент, що крутить. Але тепер MG1 обертається назад, і як нам домогтися, щоб він створював цей зворотний крутний момент? Добре, як би ми зробили, щоб MG1 обертався вперед і виробляв прямий крутний момент? Якби працював як мотор! Все навпаки: якщо MG1 обертається назад, і ми хочемо отримати крутний момент в тому ж напрямку, MG1 повинен бути двигуном і обертатися, використовуючи електроенергію, що поставляється інвертором.

### **Рух накатом.**

Коли ви знімаєте ногу з педалі акселератора, можна сказати, що ви рухаєтеся "накатом". Двигун не намагається штовхати автомобіль уперед. Автомобіль поступово уповільнюється внаслідок тертя кочення та аеродинамічного опору. У звичайному автомобілі двигун все ще пов'язаний із колесами трансмісією. Двигун провертається без палива і тому також уповільнює автомобіль. Це називають "гальмування двигуном". Хоча немає жодної причини для того, щоб це відбувалося у Prius, Toyota вирішила дати автомобілю такі самі відчуття, як на звичайному автомобілі, імітуючи гальмування двигуном. Коли Ви рухаєтеся накатом, автомобіль сповільнюється швидше, ніж якби на нього діяли лише опір кочення та аеродинамічний опір. Щоб виробляти цю додаткову сповільнювальну силу, MG2 включається як генератор та заряджає батарею. Його генераторне навантаження імітує гальмування двигуном.

Оскільки двигун не потрібен, щоб автомобіль їхав, він може зупинитись. Водило сателітів зупинено, а коронна шестерня все ще крутиться. MG2, пам'ятайте, з'єднаний безпосередньо з коронною шестернею. Сателіти обертаються вперед і MG1 обертається назад. Енергія не виробляється та не споживається MG1; він просто вільно обертається.

Однак ми знаємо, що MG1 обертається назад у 2,6 рази швидше, ніж

коронна шестерня та MG2 обертаються вперед. Ця ситуація не є безпечною, коли автомобіль їде на високій швидкості. При швидкості 67 км/год і вище, якщо залишити водило сателітів нерухомим, то MG1 обертатиметься назад більше 6500 об/хв. Тому, щоб так не сталося, комп'ютер вмикає MG1 як генератор і починає знімати енергію. Генераторне навантаження запобігає перевищенню обертів MG1, і натомість водило сателітів починає обертатися вперед. При обертанні водила сателітів та ДВС на 1000 об/хв MG1 захищений на швидкостях до 104 км/год. На вищих швидкостях водило сателітів і ДВЗ повинні обертатися швидше. Електроенергія, вироблена MG1 у цьому режимі, може використовуватись, щоб зарядити батарею.

### **Гальмування.**

Коли Ви хочете уповільнити автомобіль швидше, ніж при вільному вибігу (руху накатом) - від опору кочення, аеродинамічного опору та гальмування двигуном, Ви натискаєте на педаль гальма. У звичайному автомобілі цей тиск передається гідравлічним контуром на фрикційні гальма в колесах. Гальмівні колодки притискаються до металевих дисків або барабанів, і енергія руху автомобіля перетворюється на тепло і автомобіль сповільнюється. Prius має такі самі гальма, але він має дещо ще - регенеративне гальмування. Зважаючи на те, що зазвичай двигун зупинений у режимі гальмування, в режимі "В" комп'ютер і мотори/генератори влаштовують так, щоб обертати ДВЗ без палива і з майже закритим дроселем. Опір, який він створює, уповільнює автомобіль, зменшуючи нагрів гальм, і дозволяє Вам послабити натискання на педаль гальма.

### **Режим електромобіля та старт на електриці.**

Звичайний автомобіль з автоматичною передачею рушить з місця, якщо Ви знімете ногу з педалі гальма. Це побічний ефект роботи гідротрансформатора, але він вигідно перешкоджає автомобілю котитися назад на підйомі, у той час як Ви переносите ногу на педаль акселератора. Кажуть, що машина "повзе". Як і з гальмуванням двигуном, немає жодної причини, чому Prius повинен поводитися

таким чином, за винятком того, що Toyota хоче, щоб водії зазнавали знайомих відчуттів. Тому "повзання" також імітується. Невелика кількість енергії з батареї передається мотору MG2, коли Ви відпускаєте гальмо. Вона м'яко відправляє автомобіль уперед.

Якщо Ви трохи натиснете на акселератор, енергія, що надходить до мотора MG2, буде збільшена, і автомобіль просунеться швидше. Так як MG2 дуже потужний і має високий момент, що крутить, Ви можете стартувати тільки на електроенергії до порядної швидкості, поки дорожній рух дозволяє Вам м'яко прискорюватися. Чим більше ви придавлюєте акселератор, тим швидше ДВС запуститься і почне допомагати Вам своїм крутним моментом та електрикою, виробленим генератором MG1.

Якщо Ви натиснете педаль до підлоги, то ДВС заведеться відразу ж, хоча Ви покинете лінію, перш ніж він допоможе прискоренню і внесе велику енергію. Але, для більшості стартів усередині міста, Ви від'їдете від лінії майже в повній тиші, використовуючи лише мотор MG2, що живиться від батареї. ДВС залишається вимкненим, і MG1 вільно обертається назад.

Повільний рух та "режим електромобіля" ("режим EV").

Вище я описав, як автомобіль поїде з використанням тільки електроенергії та мотора MG2, якщо Ви не натискатимете сильно на педаль акселератора. Якщо Ви досягаєте бажаної швидкості, перш ніж ДВС заведеться, можете продовжити їзду, використовуючи тільки електроенергію. Це називають "режимом електромобіля" ("EV mode"), так як автомобіль живиться точно тим самим способом, як справжній електромобіль EV. Повертається коронна шестерня, оскільки MG2 приводить автомобіль у дію, водило сателітів та ДВС зупинилися, сонячна шестерня та MG1 вільно обертаються назад.

Навіть якщо ДВС запустився під час прискорення, коли Ви досягли швидкості та зменшили тиск на педаль, енергія, необхідна для підтримки руху, може впасти до рівня, який може легко забезпечити двигун MG2. ДВС тоді

вимкнеться, і Ви опинитеся в режимі електромобіля. Важко передбачити, коли це станеться, оскільки це залежить від різних факторів – наскільки заряджена батарея та інші обставини руху. Спосіб, яким ДВС запускається в режимі електромобіля, коли це стає необхідним, подібний до теплового запуску, але корона і сонячна шестерня в цьому випадку не нерухомі. Сонячна шестерня обертається назад і має спочатку сповільнитися. Цього може бути достатньо, щоб розігнати ДВЗ до стартової швидкості в залежності від швидкості автомобіля, а сонцю, можливо, доведеться змінити напрямок та почати обертатися вперед. Щоб уповільнити сонячну шестерню, MG1 спочатку працює в режимі генератора, і енергія знімається. Однак, оскільки швидкість MG1 знижується близько до нуля, він повинен бути увімкнений як мотор для обертання вперед і енергією, щоб швидко змінити напрям обертання, пройти нульову точку і почати обертатися вперед. В результаті, як і у разі старту двигуна в автомобілі, що стояло, водило сателітів, а з ним і ДВС, обертаються вперед. Коронна шестерня планетарного механізму, що обертається вперед в автомобілі, що отримує енергію від MG2, допомагає розігнати ДВЗ до стартової швидкості при нижчій швидкості MG1. Однак старт ДВС створює опір вільному обертанню коронної шестерні. Щоб цей ривок не відчули водій і пасажери, не кажучи вже про каву в тримачі чашки, на MG2 подається додатковий імпульс енергії для отримання додаткового моменту, що крутить, необхідного для запуску ДВС.

### **Уповільнення та рух під ухил.**

Коли Ви м'яко уповільнюєтеся або спускаєтеся під ухил, необхідна для руху енергія зменшується, тому що інерція або гравітація допомагає рухатися вперед. Тому Ви трохи зменшуєте тиск на педаль акселератора. Якщо Ви трохи сповільнюєтеся або швидко спускаєтеся з невеликої гірки, потужність ДВЗ та оберти дещо зменшуються, але це важко помітити. Для більшого уповільнення або на більш крутому спуску, залежно від швидкості, ДВС може припинити давати енергію взагалі, якщо MG2 може постачати те, що потрібно. Я вже

описував, як при повільному русі двигун MG2 може постачати всю необхідну енергію при зупиненому ДВС. Прискорюючись і рухаючись на постійній швидкості горизонтально, режим електромобіля навряд чи можливий на швидкостях вище 64 км/год, тому що потреби в потужності, необхідної для подолання аеродинамічного опору достатньо, щоб змусити ДВС включитися. Режим EV на більш високих швидкостях може відбутися, однак, за деяких умов і, ймовірно, відбудеться при уповільненні або швидкого спуску під гору. Щоб працювати в режимі електромобіля на швидкості 67 км/год і вище, автомобіль повинен захистити MG1 від дуже високих обертів так само, як під час руху накатом. Єдина відмінність полягає в тому, що коронна шестерня рухається не рухом автомобіля, а мотором MG2.

Задній ход не має жодних шестерень заднього ходу, який дозволив би автомобілю рухатися заднім ходом за допомогою ДВЗ. Тому він може переміщатися назад лише за допомогою електромотора MG2.

ДВС не може допомогти безпосередньо. У більшості випадків автомобіль зупинить ДВЗ, коли ви встановите важіль вибору режиму в положення "R". Оскільки MG2 обертає вхід редуктора назад, коронна шестерня планетарного механізму також обертатиметься назад. ДВС нерухомий, отже, і водило сателітів також нерухомо. Це просто означає, що MG1 обертатиметься вперед. Він обертається вільно, не споживаючи чи виробляючи енергію. Це схоже на режим EV, але навпаки. Комп'ютер не дозволить їхати назад із такою швидкістю, щоб MG1 обертася надто швидко.

Якщо ДВЗ продовжує працювати, коли важіль вибору режиму знаходиться в положенні R, наприклад, якщо величина заряду батареї низька, то MG2 все ще просто веде автомобіль назад як раніше. Єдина відмінність - водило сателітів обертається вперед, сонячна шестерня і MG1 обертаються швидше вперед, і комп'ютер повинен обмежити задню швидкість автомобіля на нижчому значенні, щоб захистити MG1 від занадто великої швидкості обертання. Енергія може бути

взята від генератора MG1, щоб жити MG2 та заряджати батарею.

### 2.3 Алгоритм режимів руху

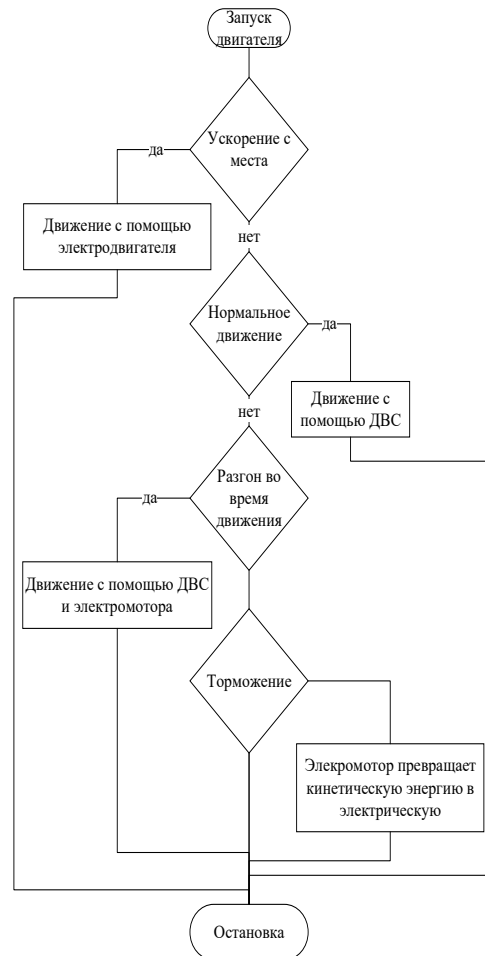


Рисунок 2.2 – Алгоритм режимів руху

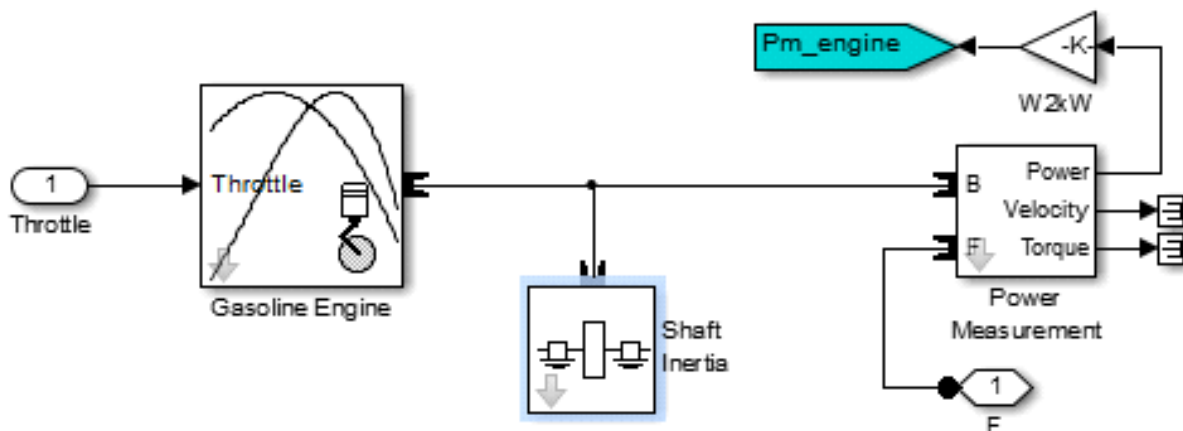
### 3 МОДЕЛЮВАННЯ ГІБРИДНОЇ УСТАНОВКИ У SIMULINK

Для моделювання послідовно-паралельної гібридної схеми було обрано програму SIMULINK пакету MATLAB.

До складу моделі гібридної установки входять:

- ДВЗ;
- електричний двигун
- планетарна передача;
- контролер;
- генератор;
- високовольтна батарея
- DC-DC конвертер;
- динаміка автомобіля.

**Двигун внутрішнього згоряння.**



Рисунок– 3.1 Модель двигуна внутрішнього згоряння

Для моделі було обрано чотирициліндровий двигун об'ємом 1.5 л. і потужністю 76 л.с.. працюючий за принципом Аткинсона.



## Електричний двигун MG2.

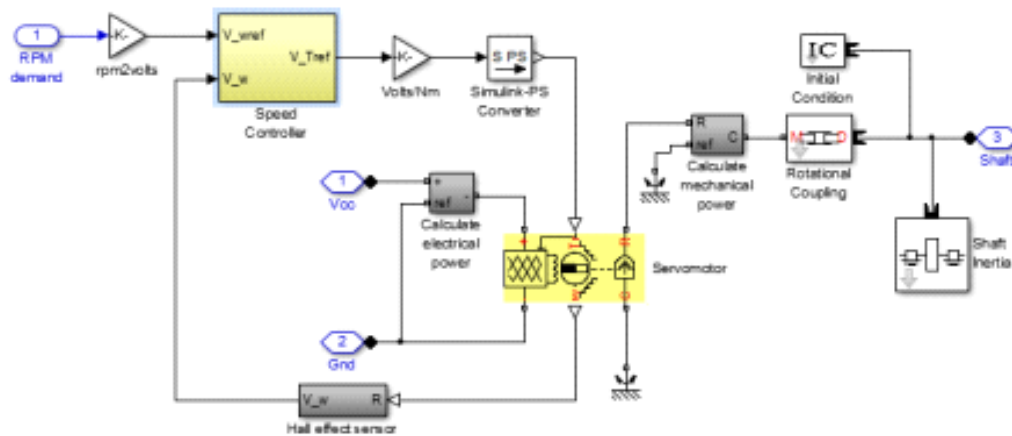


Рисунок 3.2 – Модель електричного двигуна MG2

Електричний двигун – трифазний, змінного струму, має потужність 50 кВт. Він є основним тяговим електромотором у даній моделі.

## Планетарна передача

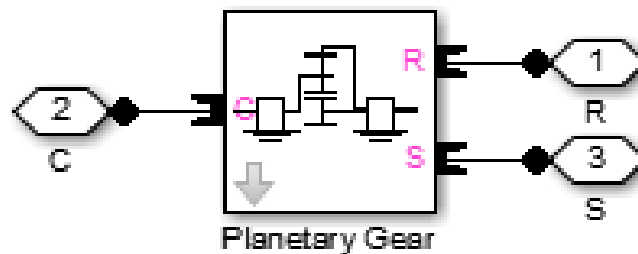


Рисунок 3.3 – Модель планетарної передачі

А як трансмісію був обраний Дільник потужності (PSD), основним компонентом трансмісії автомобіля є планетарний механізм, який використовується як дільник потужності "Power Split Device".

Цей механізм називається планетарним, оскільки має кілька розташованих по колу (сателітних) шестерень, що обертаються навколо центральної шестерні, що називається сонячною. Сателітні шестірні вільно обертаються на осях,

закріплених на воді сателітних шестерень, що також обертається навколо загальної осі планетарного механізму, навколо якої обертається і сонячна шестерня.

### Контролер.

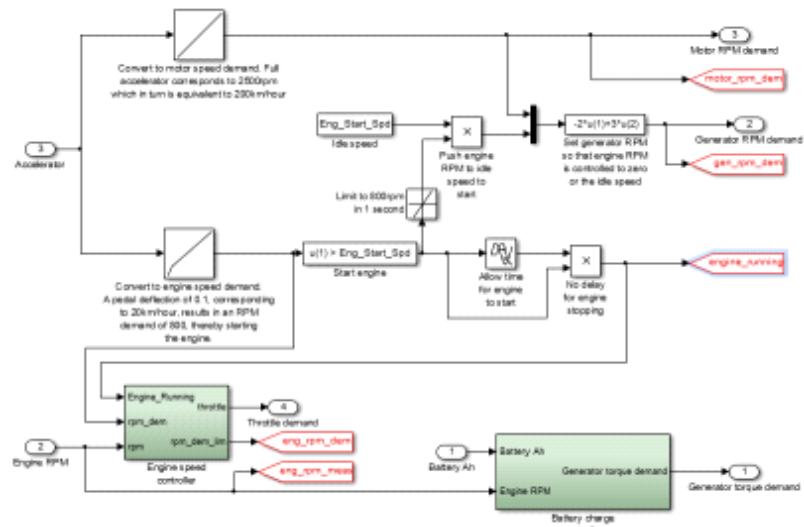


Рисунок 3.4 – Модель контролера

Уявляє собою систему розподілу потужності. Складається з контролера швидкості електродвигуна та контролера заряду батареї.

### Генератор.

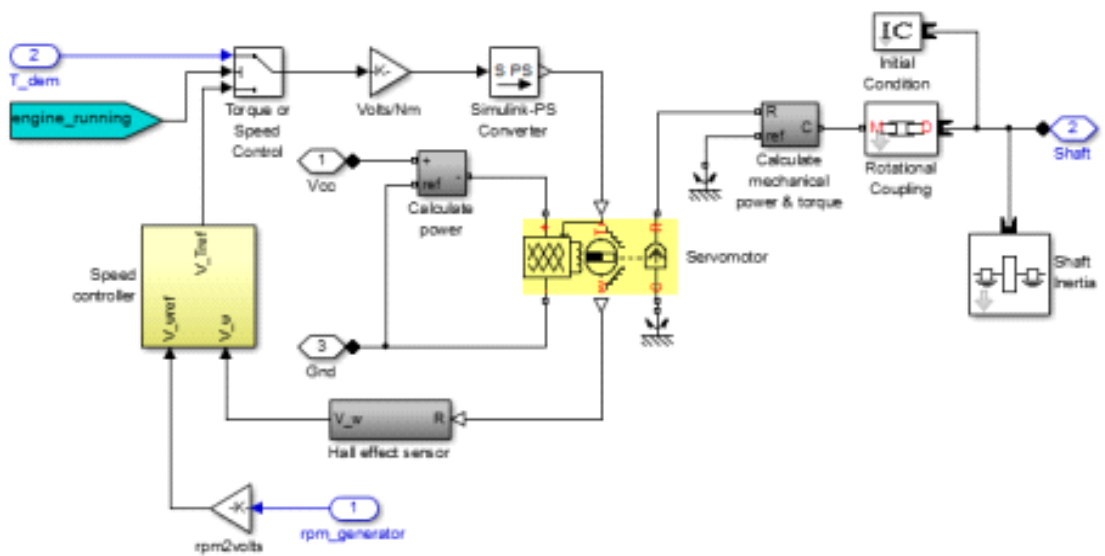


Рисунок 3.5 – Модель генератора MG1

Як модель вив обраний генератор потужністю 18 кВт. Генератор MG1 використовується так само як стартер. Під час роботи двигуна контролер генератора використовується для управління зарядом високовольтної батареї.

Генератор може рекуперувати енергію під час гальмування.

### Високовольтна батарея.

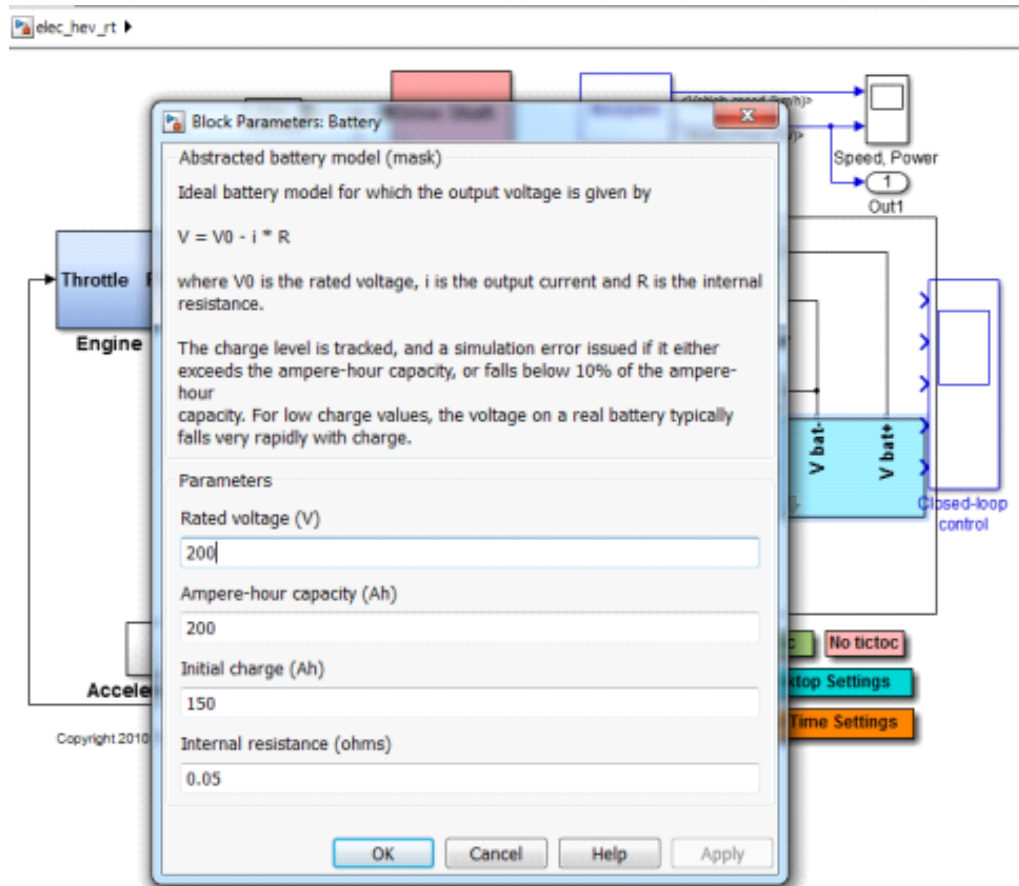


Рисунок 3.6 – Модель високовольтної батареї

Місткість акумулятора становить 200 Ач, напруга 200 В, максимальний струм 80 А. Для використання в інверторі напруга батареї підвищується до 500 В за допомогою спеціального пристрою - booster.DC конвертер.

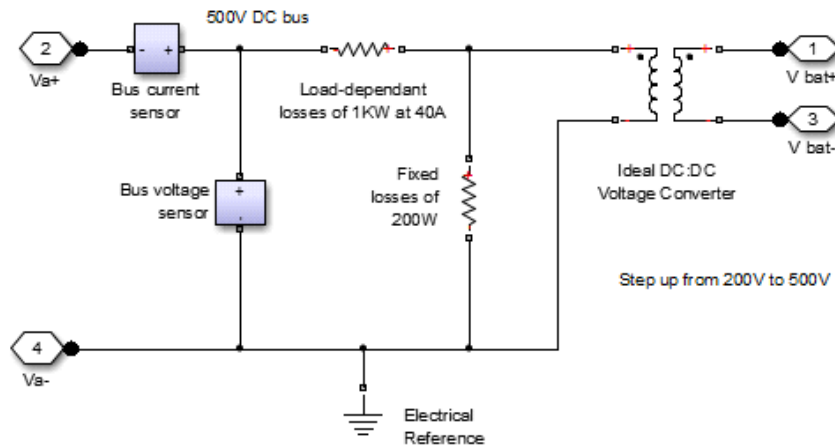


Рисунок 3.7 – Модель конвертера DC-DC

Як перетворювач був обраний DC-DC конвертер, який перетворює з 200 В 12 В.

Було зібрано підсумкову модель гібридної послідовно-паралельної установки. Були внесені дані, що відповідають нашим компонентам.

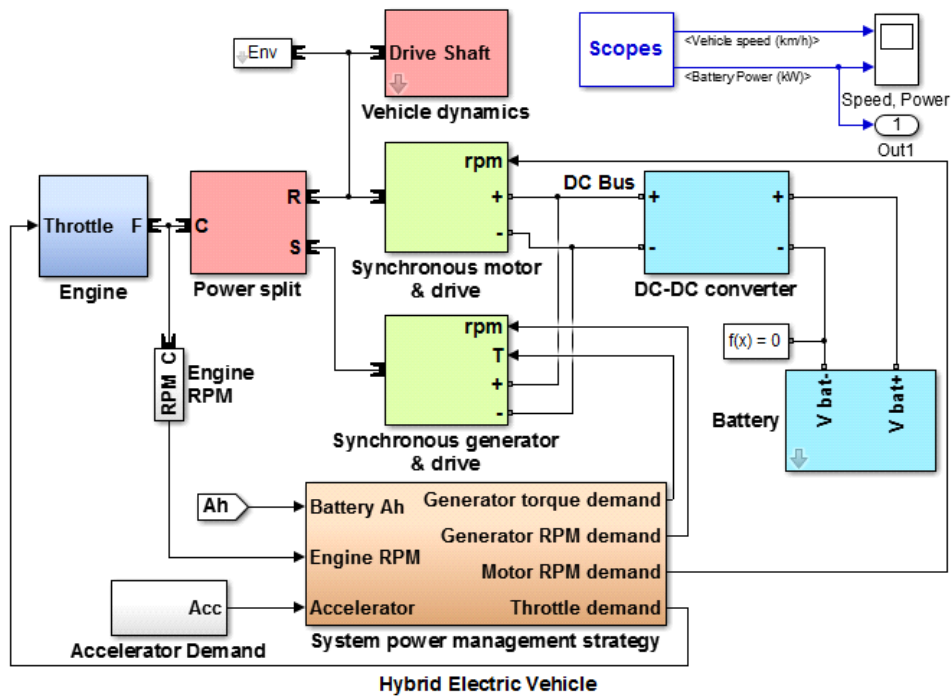


Рисунок 3.8 – Модель послідовно-паралельної гібридної установки

Для наочної демонстрації розподілу потужності було задіяно команду Scores

Через операцію Scores виводиться два графіки. На першому графіку виводиться швидкість автомобіля у км/год. На другий виводиться крива потужності високовольтної батареєю.

Результати, що виводяться, показують залежність вироблюваної потужності від швидкості автомобіля. Тестуються режими прискорення, крейсерської швидкості та уповільнення.

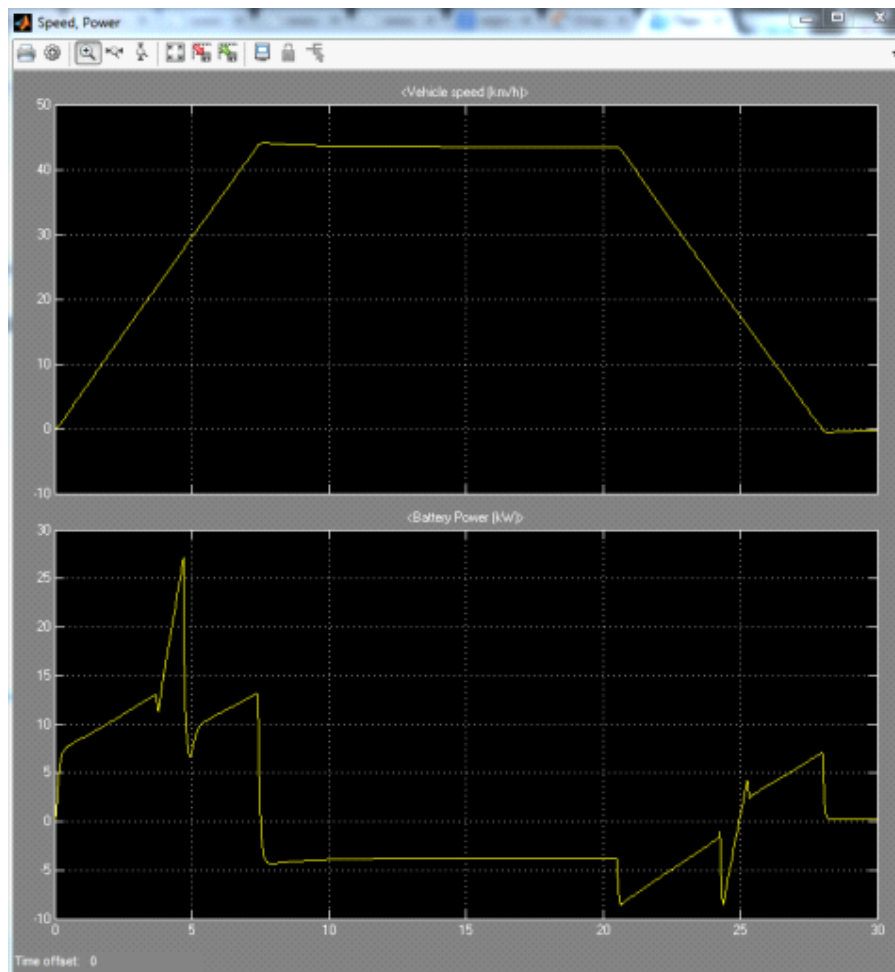


Рисунок 3.9 – Графіки, що виводяться командою scores

З рисунка 3.9 видно, яку потужність видає високовольтна батарея залежно від режиму руху.

## **4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ**

Дана система управління рухом гібридного автомобіля значною мірою знижує шкідливі викиди вуглекислого газу і дозволяє раціональніше використовувати запас ходу автомобіля. Сучасні гібридні автомобілі оснащені сучасними системами керування рухом, але все одно витрачають багато корисної енергії на порожню. Дана система керування гібридного автомобіля дозволяє максимально економити енергію, а також рекуперувати енергію назад в систему.

### **4.1 Аналіз співвідношення витрат та прибутку**

Підприємцю в процесі діяльності постійно доводиться приймати рішення про ціну, за якою продукція буде реалізована, про змінні та постійні витрати, про придбання та використання ресурсів. Для цього необхідно точно та достовірно організувати рівні витрат та прибутку.

Всі управлінські моделі, що вживаються в умовах ринку, засновані на вивченні взаємозв'язку витрат, обсягу виробництва та прибутку. Спеціальний аналіз допомагає зрозуміти взаємовідносини між ціною виробу, обсягом виробництва, змінними та постійними витратами. Він дозволяє порівняти різні варіанти цін на продукцію та отримання прибутку, а також відшукати найбільш вигідне співвідношення між змінними, постійними витратами, ціною та обсягом виробництва продукції. Досягти цього можна різними способами:

- знизити ціну продажу та відповідно збільшити обсяг реалізації;
- збільшити постійні витрати та збільшити обсяг;
- пропорційно змінювати змінні, постійні витрати та обсяг випуску продукції. Іноді аналіз співвідношення витрат, обсягу виробництва та прибутку (CVP-аналіз, Cost-Volume-Profit) трактують вужче, як аналіз критичної точки.

Під критичної розуміється та точка обсягу виробництва, у якій витрати

рівні виручці від всієї продукції, тобто. де немає ні прибутку, ні збитків. Цю точку називають також "мертвою", або точкою беззбитковості.

Для її обчислення можна використовувати три методи: рівняння, маржинальний прибуток і графічне зображення.

**Метод рівняння.**

Як вихідне рівняння для аналізу приймають наступне співвідношення виручки, витрат і прибутку:

**Виручка – змінні витрати – постійні витрати – прибуток.**

Якщо виручку подати як добуток ціни продажу одиниці виробу та кількості проданих одиниць, а витрати перерахувати на одиницю виробу, то в точці критичного обсягу виробництва будемо мати:

$$Q_{кр} \cdot P - Q_{кр} \cdot VC - FC = 0$$

де  $Q_{кр}$  – обсяг виробництва продукції в критичній точці (кількість одиниць);  
 $P$  – ціна одиниці продукції; питомі змінні витрати на одиницю продукції; постійні витрати.

З формули визначаємо кількість одиниць продукції, яку необхідно продати, щоб досягти критичної точки:

$$Q_{кр} = \frac{FC}{P - VC}$$

**Метод маржинального прибутку є модифікацією методу рівнянь.**

Маржинальна прибуток - це різницю між виручкою від продукції і на змінними витратами, тобто. це певна сума коштів, необхідна насамперед для покриття постійних витрат і отримання прибутку підприємства. Маржинальний прибуток, що припадає на одиницю продукції, становить вклад кожної проданої одиниці у покриття постійних витрат.

Перетворення формули розкриває зв'язок обсягу продукції та відносного маржинального доходу:

$$Q_{кр} = \frac{FC}{P - VC} + \frac{FC}{P(1 - (\frac{VC}{P}))} = \frac{FC}{P(1 - d)}$$

де  $d$  – відносний рівень питомих змінних витрат у ціні товару ( $d = VC/P$ );  
 $(1 - d)$  – відносний маржинальний прибуток на одиницю обсягу реалізації.

#### 4.2 Розрахунок витрат на етапі проектування

Підприємцю в процесі діяльності постійно доводиться приймати рішення про ціну, за якою виріб буде реалізовано, про змінні та постійні витрати, про придбання та використання ресурсів. Для цього необхідно точно та достовірно визначити витрати та прибуток та обсяг виробництва.

Під проектуванням розумітимемо сукупність робіт, які необхідно виконати, щоб спроектувати блок керування рухом гібридного автомобіля.

Для розрахунку витрат на етапі проектування необхідно визначити тривалість кожної роботи. Тривалість робіт визначається або за нормативами (при цьому користуються спеціальними довідниками) або розраховують їх за експертними оцінками за формулою:

$$\frac{(3t_{min} + 2t_{max})}{5} = \frac{(3 \cdot 70 + 2 \cdot 75)}{5} = 72$$

де,  $t_{min}$ ,  $t_{max}$  – найменша і найбільша, відповідно, на думку експертів, тривалість робіт. Усі розрахунки зводимо до таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Список виконуваних робіт

Назва роботи	Тривалість робіт, годинників		
	$t_{min}$	$T_{max}$	$T_0$
1. Розробка ТЗ	2	3	2,5
2. Аналіз ТЗ	2	4	3
3. Розробка алгоритму роботи	4	7	5,5
4. Розробка схем	8	9	8,5
5. Розробка програмного продукту	5	8	6,5
6. Налаштування програми	2	4	3
7. Розробка конструкції	3	4	3,4
8. Випробування	4	6	4,8
9. Коректування	3	5	3,8
10. Розробка супровідної документації	4	6	4,8
11. Оцінка безпеки та екологічності проекту	3	5	3,8
12. Техніко – економічне обґрунтування проекту	4	6	4,8
13. Оформлення пояснювальної записки	6	8	6,5
Сумарна кількість часу, год.	70	75	74

З таблиці можна побудувати стрічковий графік виконання робіт (рисунок 4.1):



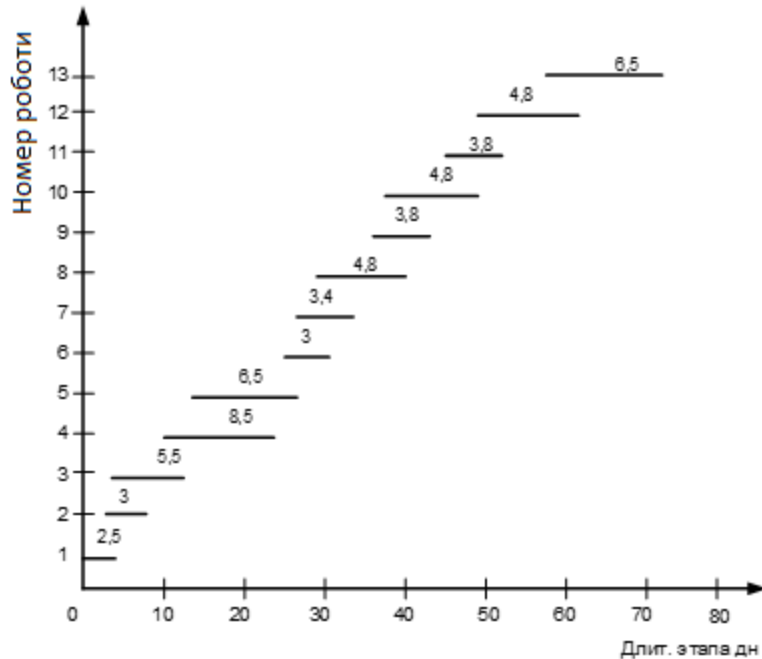


Рисунок 4.1 – Стрічковий графік виконання робіт

Для розрахунку вартості проекту необхідно визначити:

- витрати обладнання;
- основну заробітну плату;
- додаткову заробітну плату;
- податки;
- накладні витрати.

Основна заробітна плата виробничих робітників на один виріб обчислюється виходячи з трудомісткості виготовлення, застосовуваної тарифної сітки та годинних тарифних ставок (таблиця 4.1).

З таблиці 4.1 видно, що основна весті, тобто сума витрат на етапі підготовки виробництва складе 5952 грн.

Розрахуємо суму додаткової заробітної плати з розрахунку 15,2% від основної заробітної плати, отримаємо:

$$Z_{\text{доп}} = 0,152 \cdot 5952 = 892,8 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні потреби - 30% від суми основної та додаткової

заробітної плати

$$Z_{\text{с.необходимо}} = 0,30 \cdot 5952 = 1785,6 \text{ крб.}$$

Таблиця 4.2 – Розрахунок основної заробітної плати на проектування нового пристрою

Найменування робіт	Розряд, посада	Час (година)	Ставка (у годину, грн.)	сума, грн.
Розробка ТЗ	Провідний інженер	18	27	486
Аналіз ТЗ	Ст. інженер	21	21	441
Розробка структури пристрою	Інженер	46	16	736
Розробка схем	Інженер	55	16	880
Розробка схем монтажних	Інженер	42	16	672
Розробка ТД	Інженер	37	16	592
Розробка КД	Інженер	34	16	544
Узгодження із замовником	Інженер	31	16	496
Коригування	Інженер	36	16	576
Розробка ЕД	Інженер	23	23	529
Разом 5952				

Розрахуємо накладні витрати (таблиця 4.2). Норматив на накладні витрати становить від 100 до 200% суми основної заробітної плати розробників. Припустимо, що накладні витрати становитимуть 108%.

$$I_{\text{нак}} = 1,08 \cdot 5952 = 7142,4 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.3 – Калькуляція на проектування

Вид витрат	Сума, грн.
Основна заробітна плата (ОЗП)	5952,0
Додаткова ЗП (ДЗП) розробників -10% від ОЗП	892,8
Відрахування на соціальні потреби – 30% від ОЗП	1785,6
Накладні витрати (Н) – 108% від ОЗП	6451,4
РАЗОМ ( $Z_{\text{тех}}$ ): 15081,8	

Як видно з таблиці 5, витрати на проектування  $Z_{\text{тех}}$  складають  $Z_{\text{тех}} = 15081,8$  грн.

### 4.3 Розрахунок вартості матеріалів та комплектуючих системи

У таблиці 4.4 представлені матеріали та комплектуючі для виготовлення пристрою.

Таблиця 4.4 – Матеріали та комплектуючі

Найменування статті калькуляції	сума, грн.
1 Сировина та матеріали	100,00
2 Каксіальний кабель	50,00
3 Комплектуючі (діоди 45х3=135,00 грн, плата50,00 грн, конденсатори 3х30 грн=90 грн, резистори 9х2 грн=18 грн, роз'єми 3х20,33 грн=60,99 грн)	232
4 Мікросхема UC3845	50
5 Мікроконтролер Atmega8	80,00
6 Трансформатор	300,00
7 Мікросхема (стабілізатор напруги)	30,00
8 Конденсатори електролітичні 8х100	800,00
Отже, прями матеріальні витрати:	1642,00

### 4.4 Розрахунок собівартості та ринкової ціни

Виходячи з призначення та сфери застосування розробки, визначимо величину закладеного прибутку в розмірі 70 % до суми основної та додаткової заробітної плати.

Таблиця 4.5 – Калькуляція собівартості

Стаття витрат	Сума тис. грн.
1 Матеріали та обладнання	22000,00
2 Основна зарплата (ОЗ)	19000,00
3 Додаткова заробітна плата (ДЗ) 15,4 %	2926,00
4 Соціальне страхування (ОЗ) - 30 % : 100 %	6460,00
5 Накладні витрати 55,86% (ОЗ)	10614,00
6 Собівартість	61000,00
7 Прибуток 10 % - (ОЗ):	1900,00
8 Ціна	62900,00
9 ПДВ (18 %· ціну)	11322,00
Вартість	74222,00

Так як у вартість системи входять покупні вироби і за ними сплачуватиметься ПДВ 3960,00, фактичний ПДВ до оплати визначаємо в ціні за вирахуванням вже сплаченого ПДВ за придбаними матеріалами та комплектуючими.

У таблиці 4.6 представлено калькуляцію можливої ринкової ціни. Отримане розрахункове значення ринкової ціни (таблиця 4.6) відповідає оцінкам експертів, як і структура ціни розробки аналогічна усередненої по галузі.

Таблиця 4.6 – Ринкова вартість системи

Найменування статті калькуляції	Сума, грн.
Повна собівартість	61000,00
Закладений прибуток	1900,00
Отже, продажна ціна без ПДВ	62900,00
ПДВ, (11322,00- 3960,00) за вирахуванням сплаченого ПДВ за придбаними матеріалами та комплектуючим табл. (18%)	7362,00
Отже, ринкова ціна з ПДВ	70262,00

#### 4.5 Графічний метод CVP-аналізу

Графічний метод дає наочне уявлення про CVP-аналіз.

У прямокутній системі координат будується графік залежності витрат і доходів від кількості одиниць виробленої продукції (рисунок 4.2).

По вертикалі відкладаються дані про витрати та доход, по горизонталі - кількість одиниць продукції. Порядок побудови графіка наступний:

– щоб нанести на графік лінію змінних витрат, вибираємо будь-який обсяг, припустимо, 100 од. і знаходимо точку витрат, що відповідає цьому обсягу:  $61000,00 \cdot 100 = 6,10$  млн.грн. проводимо лінію змінних витрат через точки 0 та А;

– щоб нанести лінію постійних витрат, відзначимо на осі ординат точку відповідну  $10614,00 \times 100 = 1,06$  млн. грн., як від точки 0 нагору відкладемо

1,06млн. грн. Проводимо лінію витрат паралельно лінії змінних витрат. Ця лінія показує суму витрат.

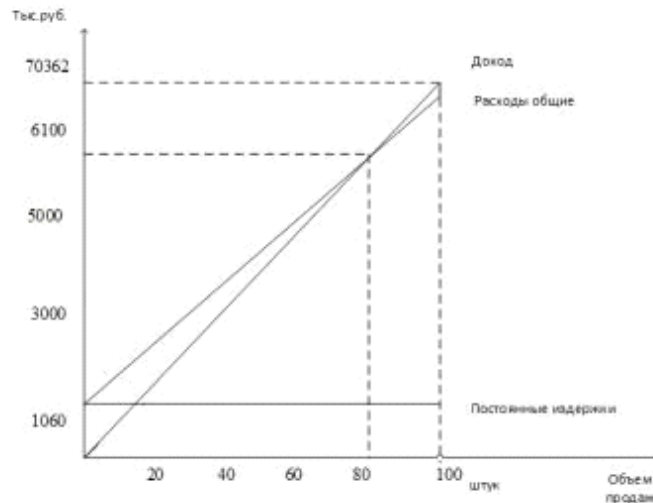


Рисунок 4.2 – Графік витрат, прибутку та обсягу продажів

Щоб нанести на графік лінію виручки, візьмемо той самий умовний обсяг продажу (100 од.). Зазначимо точку, отриману від множення ціни одиниці виробленої продукції обсяг ( $70262,00\text{руб} \cdot 100\text{шт} = 7,03\text{млн.руб}$ ). Проводимо лінію виручки через точки 0 і 7036 тис. руб.

Критична точка (точка перелому) утворюється у місці перетину лінії виручки ОД та лінії валових (сукупних) витрат ВС. У точці критичного обсягу виробництва немає прибутку і немає збитку.

Зліва від критичної точки заштрихована область чистих збитків, що утворюється внаслідок перевищення величини постійних витрат над величиною маржинального прибутку. Праворуч від неї заштрихована область чистих прибутків. Для кожного значення кількості одиниць продукції чистий прибуток визначається як різниця між величиною маржинального прибутку та постійних витрат.

Проекція точки К на вісь абсцис дає критичний обсяг виробництва у

фізичних одиницях виміру (80шт.). Проекція точки До вісь ординат дає критичний обсяг виробництва, у вартісному вимірі (бмлн. крб).

Наведена графічна залежність витрат, прибутку та обсягу продажу дозволяє зробити важливі для підприємства висновки:

- підприємство може отримати прибуток (виручка за мінусом постійних та змінних витрат) лише за умови реалізації продукції більшого обсягу, ніж критична точка  $K = 80$  штук;

- точка До, що перебуває на перетині кривої валових витрат і кривої виручки від, називається критичною точкою, під час переходу через яку настає окупність всіх витрат і підприємство починає отримувати прибуток;

- точка перетину кривої постійних витрат і кривої маржинального доходу показує той обсяг виробництва, після проходження якого настає окупність постійних витрат;

- з підвищенням цін на продукцію, що виробляється, мінімальний обсяг виробництва, який відповідає критичній точці, зменшується, а при зниженні ціни - зростає;

- зі збільшенням постійних витрат мінімальний обсяг виробництва, що відповідає точці беззбитковості, підвищується;

- збереження беззбиткового обсягу виробництва при зростанні змінних витрат можливе за інших рівних умов за рахунок збільшення мінімального обсягу виробництва.

Під час проведення CVP-аналізу умовно приймається низка допусків, які обмежують точність і надійність результатів аналізу: обсяг виробництва дорівнює обсягу продажів; ціна за одиницю товару, що продається, а також частки змінних і постійних витрат залишаються незмінними; виробляється єдиний вид виробу.

У висновку слід зазначити, що CVP - аналіз (аналіз критичної точки) відображає взаємозв'язок витрат, обсягу виробництва та прибутку, що дозволяє порівняти різні варіанти цін на продукцію та отримання прибутку

## 5 БЕЗПЕКА ТА ЕКОЛОГІЧНІСТЬ ПРОЕКТУ

### 5.1 Системний аналіз надійності та безпеки системи

Для підвищення безпеки та надійності (безвідмовності) роботи розроблюваного пристрою необхідно ефективним чином проаналізувати можливі аварійні ситуації та причини, що їх викликають. І, як наслідок, вжити заходів щодо запобігання таким.

Відмови розроблюваного устрою носять стохастичний характер, тобто. вони можуть проявитися чи не проявитися. Тому як адекватну оцінку ризику можна застосовувати ймовірність настання небажаної події, що визначається статистично.

Як приклад ситуації відмови пристрою управління УБП, візьмемо випадок виходу його з експлуатації при використанні в системі обробки сигналів. При відмови пристрою необхідна інформація не надходитиме на мікропроцесор, що у свою чергу призведе до необхідності повтору експерименту.

Оскільки дана система є пристроєм обробки сигналу, очевидно, що найбільш несприятливою з точки зору працездатності буде ситуація відсутності або спотвореності інформації. Причинами такої події можуть бути як зовнішні, що мало залежать від нас, так і несправності електричних схем самого пристрою. Ці групи подій виділені через різку відмінність причин, що призводять до їх виникнення.

Виходячи з вищевикладеного, як головна подія для аналізу надійності та безпеки проекту, що розробляється, розглянемо подію «не працює блок управління гібридного автомобіля». Причини відмови блоку керування гібридним автомобілем:

- немає напруги живлення;
- пошкодження плати пристрою;

– збій роботи мікроконтролера.

**Відсутність напруги живлення може статися з кількох причин.**

– якщо згорів запобіжник, у такому разі потрібно його замінити, попередньо усунувши причину виходу з ладу запобіжника, якою може бути коротке замикання електропроводки або несправність стабілізатора напруги;

– якщо запобіжник перебуває в робочому стані, а живлення все одно немає, тоді можливий обрив струмопровідних проводів, який може бути викликаний хімічним впливом (окислення проводів), термічним чи механічним впливом. У разі необхідно відновити цілісність проводки шляхом паяння, у своїй необхідно також відновити ізоляцію у разі її руйнації щоб уникнути короткого замикання, чи заміни обірваних проводів;

– якщо з проводкою все гаразд, а пристрій не вмикається, значить, є пошкодження плати блоку управління. Це може статися при механічному впливі на елементи, або виході з ладу самих елементів плати при порушеннях правил експлуатації приладу, перегрівання елементів через природне старіння або порушення температурного режиму. Необхідно замінити деталі, що вийшли з ладу, на нові

**Ушкодження плати пристрою може статися через причини.**

– якщо був механічний вплив на плату, у такому разі призначається огляд та подальше виявлення проблеми.

– якщо механічного впливу був, а плата перебуває у неробочому стані, тоді можливий вихід із ладу елементів плати викликаний чи механічним впливом, чи перегрівом.

– якщо механічний вплив був відсутній, то причиною відмови пристрій є перегрів, викликаний або порушенням температурного режиму, або природним старінням елементів схеми.

**Збій роботи мікроконтролера може статися:**

– мікроконтролер може вийти з ладу, якщо два або більше виведення



"ніжки" якимось чином замкнути (за умови, що ці висновки "ніжки", програмно задіяні як входи, або на них подано сигнал від датчиків, або живлення);

– ще однією причиною може бути механічний вплив на сам мікроконтролер. Щоб не допустити цього, потрібно мати мікроконтролер у віддалених від навантажень місцях.

– мікроконтролер може вийти з ладу якщо на нього подати напругу живлення більше встановленої напруги, це може статися у разі замикання проводів, а також при підключенні програматора, в тому випадку, коли прилад підключений до бортової мережі автомобіля. Щоб уникнути цього, рекомендується відключати пристрій від бортової мережі.

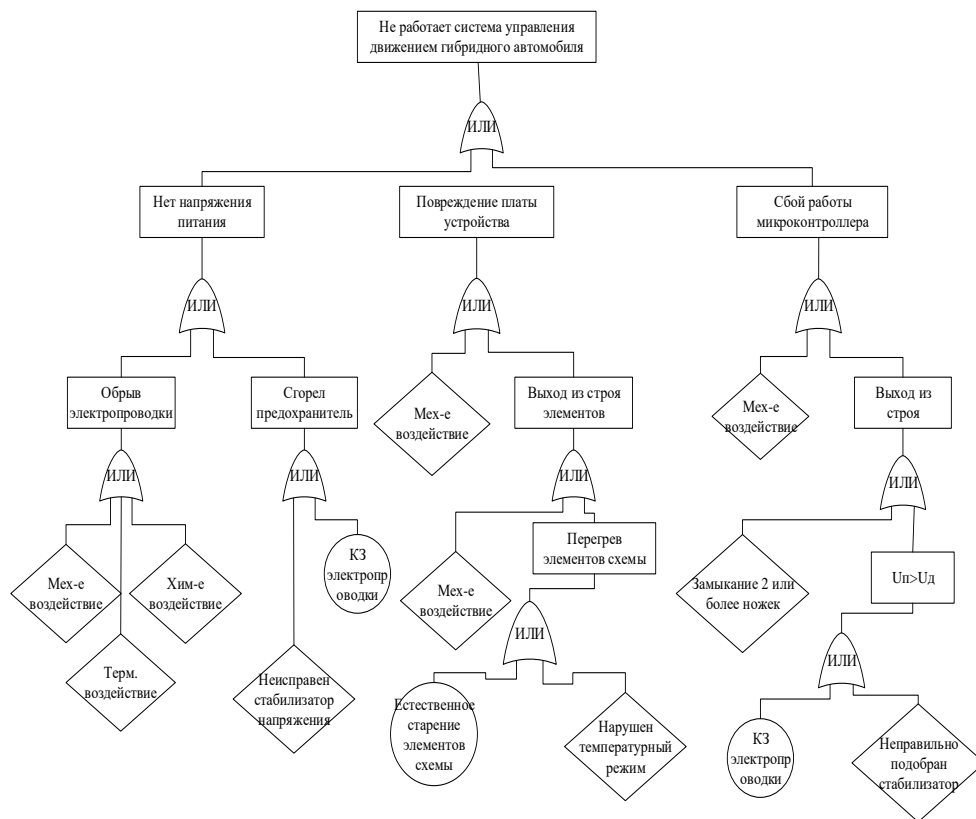


Рисунок 5.1 – Дерево причин відмов

До дефектів, які можуть виникнути в процесі збирання, відносяться: удар, перегрів, обрив, електричний пробій статичною електрикою та інші. До

порушень правил експлуатації відносяться: невідповідність температурного режиму, невідповідність кліматичній зоні, неномінальна напруга живлення тощо.

Необхідно також додати сюди відсутність сигналу на вході пристрою паркування автомобіля, що, у свою чергу, може бути викликано, наприклад, відсутністю об'єкта спостереження, тобто відмовою датчика.

Результати аналізу можливих джерел відмови пристрою представлені у вигляді "дерева причин відмов" на рисунку 5.1.

## **5.2 Розробка заходів щодо підвищення надійності та безпеки**

На основі вище викладеного при розробці, встановленні та експлуатації пристрою необхідно виконувати наступні заходи щодо підвищення надійності системи, що розробляється.

Розглядаючи небезпеку виходу з ладу елементів УБП через їх перегрівання, треба передбачити не тільки охолодження пристрою в умовах природної конвекції та застосування тепловідводів на функціональних вузлах, але й вибрати таку елементну базу, яка б витримувала значні перепади температур, особливо з її підвищенням у більш спекотних регіонах.

Для захисту від перепаду напруги необхідно скористатися мережевим фільтром і стабілізатором напруги живлення із захистом від короткого замикання, також необхідно передбачити наявність плавкого або самовідновлюваного запобіжника в ланцюгу живлення.

Несправності, причинами яких є обрив мережевого кабелю можна усунути шляхом прокладання даного кабелю в місцях, де може бути механічний вплив місцях таким чином, щоб мінімізувати можливість механічних пошкоджень (вигин, натяг), наприклад, у підлозі автомобіля.

Така ситуація як відсутність напруги запобігається регулярної перевіркою стану проводів живлення, проведенням технічного огляду УБП, а також

стеженням за справністю електропроводки.

Організаційні заходи. Персонал для роботи над збиранням, монтажем та налагодженням блоку управління готується спеціально. До роботи можуть бути допущені особи, які досягли 18-річного віку, пройшли медичну комісію та мають посвідчення на право виконання робіт. Для персоналу, що безпосередньо працює в електроустановках, проводиться повторна перевірка знань щорічно.

Для безпеки робіт у електроустановках здійснюються організаційні заходи. Організаційними заходами є:

- допуск робітників, кваліфікаційна група яких не нижче 3;
- інструктаж з техніки безпеки;
- оформлення перерв у роботі, переведення на інше робоче місце, закінчення роботи.

Гігієнічні заходи. На робочих місцях велике значення приділяється створенню комфортних умов праці, які забезпечуються параметрами мікроклімату та ступенем запиленості повітря.

Місцева витяжна вентиляція призначена для видалення повітря безпосередньо від місць утворення або виходу шкідливих виділень, припливна для подачі повітря на певні робочі місця або ділянки.

Світлотехнічні умови є найважливішим фактором при роботах, що потребують зорової напруги. Роботи, що виконуються в лабораторії, відносяться до III розряду зорових робіт (розмір об'єкта 2-4 мм). Відповідно до вимог СНиП 23-05-95, необхідна освітленість робочого місця для III розряду зорових робіт повинна становити не менше 300 лк. Працюючи вдень використовується природне бічне освітлення, тобто. через світлопройоми (вікна) у зовнішніх стінах. Світло в лабораторії проникає через віконні отвори загальною площею 6м<sup>2</sup>.

У вечірній час використовується система загального штучного освітлення, що складається з шести світильників типу ШОД з лампами ЛБ-80 та ЛДЦ-80,

розміщених у два ряди групами по чотири лампи на висоті 3,5 м від підлоги.

Оскільки роботи виконуються переважно у світлий час доби, то розглянемо природне освітлення приміщення лабораторії.

Природне освітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості (КЕО) ( $e$ ), який є відношенням освітленості природним світлом якої-небудь точки всередині приміщення до значення зовнішньої освітленості горизонтальної поверхні, що освітлюється світлом повністю відкритого небосхилу і виражається у відсотках:

$$e = (E_{вн}/E_{нар}) \cdot 100\%;$$

де  $E_{вн}$  – освітленість будь-якої точки всередині приміщення;

$E_{нар}$  – освітленість точки поза приміщенням.

Щоб знизити стомлення очей, рекомендується після кожної години роботи робити десятихвилинну перерву.

### **5.3 Пожежна безпека під час виробництва та монтажу пристрою**

При монтажі та налаштуванні пристроїв використовуються різні електричні прилади. При їх неправильній експлуатації виникає небезпека виникнення надзвичайної ситуації. У процесі роботи із пристроєм існує небезпека виникнення пожежі. Причини пожежі можуть бути електричного та неелектричного характеру. До причин електричного характеру належать:

- іскріння в електричних пристроях;
- струми коротких замикань, провідники, що нагрівають, до високої температури, при якій може виникнути займання їх ізоляції, а також значний електричний перевантаження проводів та обмоток електричних приладів;
- погані контакти у місцях з'єднання проводів, коли внаслідок великого

перехідного опору виділяється велика кількість тепла;

- електрична дуга, що виникає в результаті прошибкових операцій;

Причинами пожеж неелектричного характеру можуть бути:

- несправність опалювальних приладів та порушення режимів їх роботи;
- несправність виробничого обладнання та порушення технологічного

процесу, в результаті якого можливе виділення горючих газів, парів пилу в повітряне середовище;

- куріння у пожежонебезпечних приміщеннях;
- самозаймання деяких матеріалів.

Основними причинами пожежі у пристрої є:

- порушення технологічного режиму роботи;
- несправність електропроводки (старіння або пошкодження ізоляції).

Для виключення появи короткого замикання та перевантаження по струму в блоці живлення пристрою передбачені:

- плавкий запобіжник ланцюга живлення 12 в;
- мікросхема з автоматичним захистом від навантажень kр142eh5a(5 в).

Дане приміщення з пожежної безпеки згідно з НПБ105-03 повинно мати категорію В-виробництва, пов'язані з обробкою речовин, що згоряють в холодному стані. Ступінь вогнестійкості основних будівельних конструкцій за СНіП 2.27-07-97 \* дорівнює 3.

Захист мережі від короткого замикання забезпечується реле та настановними автоматами. Необхідно також передбачити вимикачі для вимкнення живлення всіх приладів у лабораторії. При перевантаженні найбільш ефективними є автоматичні схеми захисту, тепле реле та плавкі запобіжники.

Технологічні операції (наприклад, паяння, лудіння гарячим припоєм, випалювання кінців монтажного дроту) проводяться з використанням ЛЗР (етилового спирту, ацетону, скипидару) та при підвищеній температурі.

Щоб уникнути пожежі, електричні паяльники повинні забезпечуватися

спеціальними термостійкими підставками. Випалювання ізоляції кінців проводів повинно проводитися в невігоряній витяжній шафі. ЛЗР слід зберігати в посуді з герметичними кришками (пробками). Посуд відкривають лише у момент користування. Кількість ЛЗР не повинна перевищувати добову потребу. Вентиляція робочого місця дозволяє зменшити концентрацію в повітрі легкозаймистих речовин. Вентиляційна система повинна мати пристрої, що запобігають виникненню пожежі можливість поширення вогню з одного поверху в інший або з одного приміщення в інше.

Готова продукція, обладнання, тара та інше майно має бути на певних місцях.

Куріння допускається лише у спеціально відведених місцях чи кімнатах, позначених відповідними написами та забезпечених урнами з водою.

У лабораторії має бути вивішена табличка із зазначенням прізвищ та посади осіб, відповідальних за пожежну безпеку.

Коридори, проходи, основні та запасні виходи, тамбури, сходові клітини повинні постійно утримуватися у справному стані, нічим не зашарашені, а в нічний час висвітлюватись.

Енергопостачання приміщень здійснюється від трансформаторної станції. На трансформаторних підстанціях особливу небезпеку становлять трансформатори з олійним охолодженням. У зв'язку з цим перевагу слід надавати сухим трансформаторам.

Для швидкого виклику міської пожежної частини, у разі виникнення пожежі, у лабораторії мають бути засоби зв'язку. Весь пожежний інвентар, протипожежне обладнання та первинні засоби пожежогасіння повинні утримуватися у справному стані, знаходитись на видному місці та до них у будь-який час доби повинен бути забезпечений безперешкодний доступ. Усі стаціонарні та переносні засоби пожежогасіння повинні періодично перевірятися та випробовуватись.

Для гасіння пожежі в лабораторії є вогнегасник ОУ-2 ТУ27-4563-79, призначений для гасіння невеликих вогнищ пожежі. Вогнегасники зазнають періодичної перевірки та перезарядки.

При виникненні пожежі необхідно негайно вимкнути електроживлення лабораторії рубильником і скористатися вогнегасником. Також використовуються низка інших первинних засобів пожежогасіння, таких як пісок, багри, відра, що знаходяться на пожежних щитах або біля них.

Організаційні заходи щодо пожежної профілактики проводять з метою забезпечення правильної експлуатації та проведення протипожежного інструктажу серед оперативно-ремонтного персоналу.

У разі виникнення пожежі, крім вжиття заходів щодо її ліквідації, необхідно здійснити евакуацію робочого персоналу з небезпечної зони.

Основними причинами спалахів у працюючому приладі УБП є навантаження проводів, коротке замикання, іскріння.

#### **5.4 Захист навколишнього середовища**

При виготовленні пристрою застосовуються такі технологічні процеси: обробка фольгованого склотекстоліту та металів, виготовлення друкованих плат (фотолітографія, травлення), покриття лаком друкованих плат, монтаж електричних з'єднань блоку методом паяння.

Всі ці процеси впливають стан навколишнього середовища, тим чи іншим способом забруднюючи її. Так при механічній обробці ґрунт можуть потрапляти стружки шматки текстоліту та інші тверді частинки.

При виготовленні друкованих плат використовується отруйні речовини, що сильно діють, (хлорне залізо), різні розчинники для очищення вже готових плат. Оскільки більшість речовин перебуває у рідкому стані, то ймовірність попадання цих речовин у воду, водогін, каналізацію і у якісь водойми, підземні джерела,

досить велика. Покриття друкованих плат різними лаками призводить до виділення в атмосферу шкідливих речовин.

Основним забрудненням при цьому виробництві є пари свинцю, що виділяються при паянні деталей. Для зменшення цього фактору використовуємо припій ПОС-60, який містить 60% олова, решта 40% свинець.

Під час розробки та експлуатації даної системи небезпеки забруднення екосистеми немає. Це можливо через те, що співпроцесорний модуль не виділяє шкідливих речовин, при роботі не радіоактивний, рівень електромагнітного випромінювання не небезпечний для людини і природи.

На всіх етапах виготовлення виробу існує загроза забруднення літосфери, це виробництво не безвідходне. При нарізці, пайці, травленні друкованих плат, виготовлення по фарбуванню корпусу залишаються відходи, що містять свинець, олово та їх сполуки, органічні горючі (обтиральні матеріали, ганчір'я, обрізки пластмас, оргскла, залишки лакофарбових матеріалів), які необхідно складувати в певному місці та в надалі відправлятиме на переробку на полігон. Переробку промислових відходів проводять відповідно до вимог СНиП 2.01.28-85 та призначених для централізованого збору, знешкодження та захоронення токсичних відходів.

Висновок. При розгляді впливу розроблюваного приладу на навколишнє середовище було вжито наступних заходів:

При виготовленні приладу:

- відстоювання, нейтралізація, фільтрація рідких розчинів;
- використання фільтрів Петрянова;

При експлуатації приладу:

- немає шкідливих впливів на довкілля;

При утилізації:

- переплавлення
- піроліз.



## ВИСНОВОК

Тема дипломного проекту пов'язана з розробкою системи управління режимами руху гібридного автомобіля, призначеної для більш раціонального використання енергії, що витрачається, в різних режимах руху, що призводить до економії палива, а так само підвищення екологічності автомобіля.

У ході виконання дипломного проекту було розглянуто існуючі гібридні схеми, виділено основні компоненти та принцип роботи. Було проведено аналіз, в ході якого запропоновано послідовно-паралельну гібридну схему.

На основі аналізу технічного завдання зроблено вибір основних силових агрегатів для гібридної силової установки. Розроблено структурну та принципову електричну схему системи управління. Складено алгоритм режимів руху гібридного автомобіля. Зроблено модель у програмі SIMULINK послідовно-паралельної схеми гібридного автомобіля.

Розглянуто питання техніко-економічного обґрунтування проекту, питання безпеки та екологічності проекту.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. J. Boecker, Mechatronics and Electrical Drives, Lecture Script, Paderborn: University of Paderborn, 2012.
2. Amir Ahmed, Dikki D. Bhutia, Propulsion System Design and Sizing of an Electric Vehicle, in International Journal of Electronics and Electrical Engineering, Volume 3, No. 1, February 2015.
3. A.G. Ritchie. Recent development and future prospects for lithium rechargeable batteries. Journal of power Sources, Vol.96, No.1, (June 2001), pp.1-4, ISSN 0378-7753
4. Oriental Motor. AC & Brushless DC Speed Control Motor Systems URL: [www.orientalmotor.com/products/ac-dc-speed-motors/index.htm](http://www.orientalmotor.com/products/ac-dc-speed-motors/index.htm), 2007.
5. Стан ринку гібридних автомобілів [Електронний ресурс] – [snauka.ru/2013/07/2136](http://snauka.ru/2013/07/2136).
6. Стимулювання до купівлі більш екологічних автомобілів [Електронний ресурс] <https://ecotechnica.com.ua/stati/1228-kak-v-evrope-stimuliruyutelektromobilistov-polnyj-obzor-po-stranam.html>.
7. Мисків Т. Г., Данілова Ж. Д., Жовнич В. І. Аналіз гібридного приводу автомобіля Toyota Prius. Lviv Polytechnical National University Institutional Repository : <http://ena.lp.edu.ua>, 2016.
8. Гібридний автомобіль з мехатронним накопичувачем енергії: пат. 49349 Україна: МПК (2009) B60K5/00. Харківський автомобільно-дорожній університет. № u200911647; заявл. 16.11.2009; опубл. 26.04.2010, Бюл. № 8.