

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **ПОКРАЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕМОНТУ
ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ АВТОМОБІЛЯ З МОДЕРНІЗАЦІЄЮ
СТЕНДУ**

Виконав: студент 6 курсу групи Ат-63

Спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва)

Олег ГАБРИШ

(прізвище ім'я та по батькові)

Керівник: к.т.н., в.о. доц. Степан ХІМКА

(наук. ст., вчене звання, прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2024

УДК 629.113.066.

РЕФЕРАТ

«Покращення ефективності ремонту електрообладнання автомобіля з модернізацією стенду». – Габриш О.В. – Кваліфікаційна робота. Кафедра автомобілів та тракторів. - Дубляни, -Львівський НУП, 2024. 69 с. текст. 5 част. 27 рис., 4 табл., бібл. 21.

Мета роботи полягає в модернізації стенду для випробувань генераторів і стартерів з метою підвищення ефективності їх діагностики та ремонту.

Об'єктом дослідження є ефективність функціонування стендів, призначених для тестування генераторів і стартерів.

Предметом дослідження виступають несправності генераторів і стартерів, а також процеси їх випробувань.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Проаналізувати систему електрообладнання автомобіля та найпоширеніші види несправностей.
2. Провести огляд стендів для тестування електрообладнання, представлених на ринку.
3. Виявити недоліки існуючих стендів та визначити шляхи їх вдосконалення.
4. Здійснити модернізацію обраного випробувального стенду з урахуванням виявлених проблем.
5. Обґрунтувати техніко-економічну доцільність проведеної модернізації.

Ключові слова: генератор, стартер, випробувальний стенд, електродвигун, перетворювач частоти.

ЗМІСТ

| | |
|--|----------|
| ВСТУП..... | 7 |
| 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ | |
| КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ..... | 9 |
| 1.1 Аналіз системи живлення автомобіля та генератора..... | 9 |
| 1.2 Дослідження функціонування стартера..... | 17 |
| 1.3 Розгляд видів і типів акумуляторних батарей..... | 21 |
| 1.4 Обґрунтування вибору теми кваліфікаційної роботи..... | 27 |
| 2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ СТЕНДІВ ТА ОЦІНКА ЇХ ПЕРЕВАГ І | |
| НЕДОЛІКІВ. ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ | |
| МОДЕРНІЗАЦІЇ..... | |
| 2.1 Визначення основних несправностей в системі електрообладнання автомобіля..... | 29 |
| 2.2 Огляд випробувальних стендів для електрообладнання автомобілів, доступних на ринку..... | 32 |
| 2.3 Аналіз основних недоліків і проблем, що виникають у випробувальних стендів | 40 |
| 3 МОДЕРНІЗАЦІЯ ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДУ..... | |
| 3.1 Опис алгоритму модернізації..... | 42 |
| 3.2 Розробка функціональної схеми та підбір необхідного обладнання.... | 43 |
| 3.3 Вибір і розрахунок частотного перетворювача..... | 48 |
| 3.4 Розробка електричної схеми для модернізації | 51 |
| 3.5 Методика проведення діагностики електрообладнання на модернізованому стенді..... | 53 |

| | | |
|-----|---|----|
| 4 | ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ..... | 57 |
| 4.1 | Аналіз травмонебезпечних ситуацій та вимоги безпеки під час експлуатації електричного обладнання..... | 57 |
| 4.2 | Планування заходів з покращення охорони праці..... | 59 |
| 4.3 | Моделювання процесів формування і виникнення небезпечних ситуацій під час | 60 |
| 4.4 | Безпека в надзвичайних ситуаціях..... | 63 |
| 5 | ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА МОДЕРНІЗАЦІЇ | 64 |
| | ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ | 66 |
| | СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 68 |

ВСТУП

Автомобільний транспорт має величезний вплив на сучасне суспільство. Окрім виконання своєї основної транспортної функції, він істотно впливає на структуру промисловості, формуючи окрему галузь — автомобілебудування. Це, у свою чергу, змінює професійну орієнтацію суспільства, впливає на психологію, моду, а інколи навіть традиції.

Розвиток автомобільного транспорту та автомобілебудування в Україні набуває особливої важливості в сучасних умовах. Збільшення кількості імпортованих автомобілів та автомобільної техніки на українському ринку створює високу конкуренцію між виробниками й ставить перед вітчизняним машинобудуванням виклик виживання та оновлення. Успіхи фундаментальних і прикладних наук, досягнуті у попередні роки, дозволяють сподіватися на вихід галузі з кризи та створення конкурентоспроможних сучасних автомобілів, які зможуть гідно представити українське машинобудування.

Сучасні автомобілі обладнані великою кількістю пристроїв, що споживають електроенергію. Серед них стартер, система освітлення, обігрівач заднього скла, навігаційна система та інші. Забезпечення цих пристроїв енергією здійснюється через систему зарядки, яка також відповідає за заряд акумулятора. Правильна робота цієї системи є критичною, адже акумулятор має бути повністю зарядженим після кожної поїздки.

До складу системи зарядки входять двигун, генератор, акумулятор, ключ запалювання та контрольна лампа заряду акумулятора. Двигун приводить у дію генератор змінного струму, який забезпечує енергією всі пристрої автомобіля та заряджає акумулятор. Обсяг енергії, який виробляє генератор, залежить від рівня споживання пристроями автомобіля та акумулятором. Генератор повинен забезпечувати достатню кількість струму, щоб одночасно живити всі пристрої й заряджати акумулятор. При повному заряді акумулятора і вимкнених пристроях генератор знижує виробництво енергії до мінімуму.

Система заряду обладнана попереджувальним індикатором на приладовій панелі, який сигналізує про несправності. Генератор, розташований у моторному відсіку, кріпиться до блоку двигуна. Він перетворює кінетичну енергію двигуна на електричну, постачаючи її всім споживачам і заряджаючи акумулятор. Таким чином, генератор забезпечує безперервну роботу всіх електричних систем автомобіля.

Стартер відіграє важливу роль у запуску двигуна внутрішнього згорання. Його електромотор обертає зубчасту шестерню, яка входить у зачеплення із зубчастим вінцем маховика двигуна, забезпечуючи його початковий рух. Ефективна робота стартера є важливою для надійного запуску автомобіля за будь-яких умов.

Автомобільне електрообладнання є однією з ключових складових системи, що забезпечує надійну роботу всього транспортного засобу. Несправності електрообладнання можуть призвести до серйозних збоїв у функціонуванні автомобіля, зокрема до проблем із запуском двигуна, відмови систем освітлення, обігріву чи навігації. Це не лише створює дискомфорт для водія, але й може становити загрозу для безпеки руху [1, 4].

Саме тому своєчасна діагностика та швидкий ремонт електрообладнання є вкрай важливими. Оперативне усунення несправностей дозволяє зменшити ризики тривалого простою автомобіля, уникнути дорожніх інцидентів, пов'язаних із несправними системами, та зберегти ефективність роботи всіх компонентів. Крім того, запобігання тривалому використанню автомобіля з несправним електрообладнанням допомагає уникнути більш серйозних пошкоджень, які можуть призвести до значно вищих витрат на ремонт.

У цьому контексті модернізація випробувальних стендів для генераторів і стартерів має надзвичайно важливе значення. Вона дозволяє підвищити точність і швидкість діагностування, що забезпечує оперативність ремонту й повернення автомобіля до експлуатації. Швидке й якісне відновлення роботи електросистем сприяє не лише зручності користування транспортним засобом, але й підвищує його експлуатаційну безпеку та подовжує термін служби.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1.1 Аналіз системи живлення автомобіля та генератора

Автомобіль оснащений численними пристроями, які споживають електроенергію, серед яких стартер, система освітлення, обігрівач заднього скла та навігаційна система. Забезпечення цих пристроїв струмом, а також зарядка акумулятора здійснюється через систему зарядки. Для належного функціонування акумулятор повинен повністю заряджатися після кожної поїздки. Якщо цього не відбувається, виникає сульфатація позитивних і негативних пластин акумулятора, що знижує його ємність та ефективність роботи.

Система зарядки складається з таких елементів: двигун, генератор, акумулятор, ключ запалювання та контрольна лампа заряду акумулятора. Двигун приводить у дію генератор змінного струму, який виробляє електроенергію для живлення пристроїв автомобіля. Кількість енергії, що виробляється генератором, залежить від обсягу споживання енергії пристроями автомобіля та акумулятором. Генератор має забезпечувати достатній струм для одночасного живлення всіх пристроїв і зарядки акумулятора. Максимальна потужність генератора визначається загальним споживанням електроенергії. Якщо акумулятор повністю заряджений і всі пристрої вимкнені, генератор знижує виробництво енергії до мінімуму.

Система зарядки обладнана індикатором на приладовій панелі, який сигналізує про будь-які несправності. Генератор, встановлений у моторному відсіку на блоці двигуна, виконує функцію перетворення кінетичної енергії двигуна в електричну. Він забезпечує електроенергією всі споживачі автомобіля та заряджає акумуляторну батарею, забезпечуючи наявність постійного запасу енергії.

Основні компоненти генератора включають(рис. 1.1):

- корпус, який забезпечує кріплення генератора до двигуна та захищає його внутрішні елементи;
- шків, через який двигун передає обертальний момент на вал генератора;
- ротор, що створює магнітне поле для генерації напруги;
- статор, який складається з трьох котушок, де генерується змінний струм;
- випрямляч, який перетворює змінний струм на постійний;
- регулятор напруги, що підтримує стабільний рівень напруги;
- вентилятор, який охолоджує генератор для запобігання його перегріву.

Ця система працює у взаємозв'язку всіх своїх компонентів, забезпечуючи безперебійну роботу електрообладнання автомобіля.

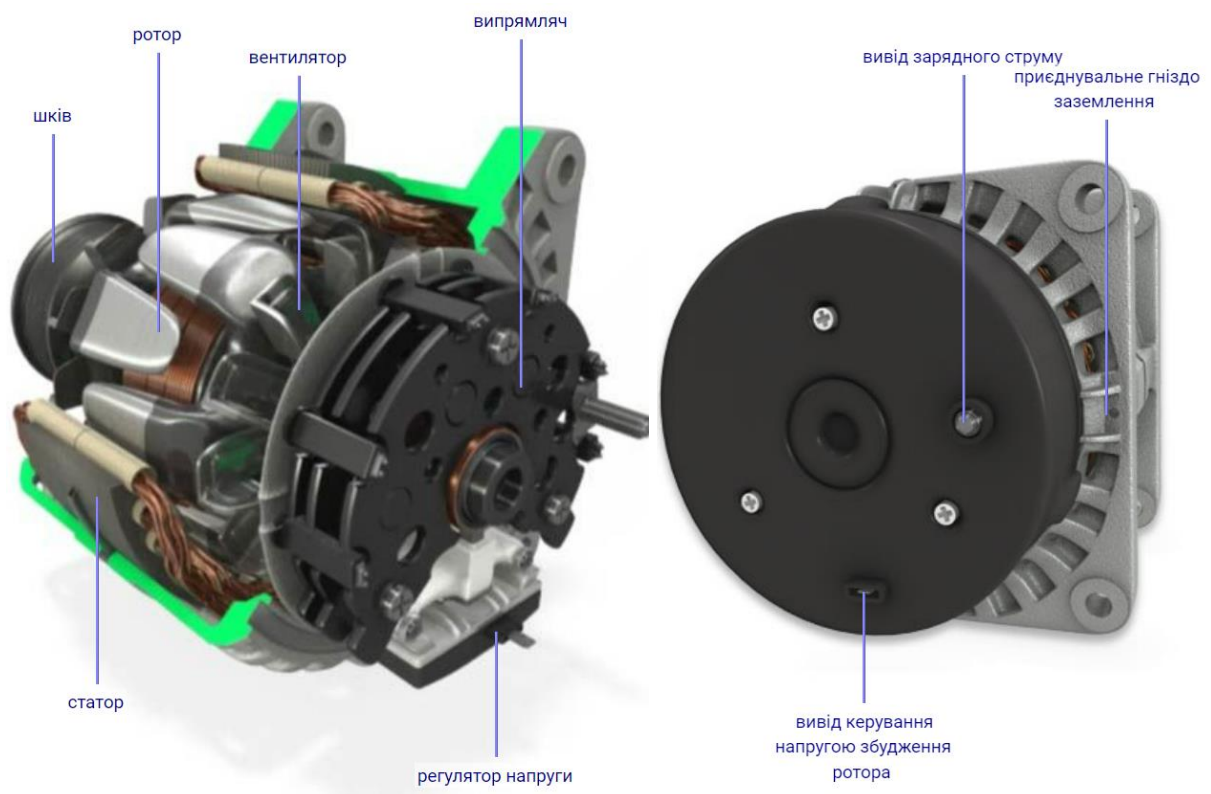


Рисунок 1.1 – будова генератора змінного струму

Генератор змінного струму починає генерувати напругу в обмотках статора лише за наявності магнітного поля, створеного в котушці ротора, і під час його обертання. Магнітне поле утворюється завдяки струму, що проходить через витки котушки ротора. Саме генератор змінного струму забезпечує створення цього магнітного поля.

Для формування початкового магнітного поля в обмотці ротора використовується процес попереднього збудження. Попереднє збудження

виникає завдяки струму, що проходить через замок запалювання та спіраль контрольної лампи заряду акумулятора, розташованої на приладовій панелі. Після подачі напруги на обмотку ротора і початку обертання ротора генератор стає здатним самостійно підтримувати магнітне поле, забезпечуючи струмом обмотку збудження. Таким чином, він починає працювати в автономному режимі, створюючи електроенергію, яка використовується як для живлення автомобільних систем, так і для заряджання акумулятора.

Під час етапу попереднього збудження контрольна лампа заряду акумулятора на приладовій панелі світиться, сигналізуючи про проходження струму через обмотку ротора. Коли генератор переходить у робочий режим і починає генерувати достатній струм для підтримки магнітного поля, контрольна лампа гасне, що свідчить про нормальну роботу системи зарядки.

Даний процес забезпечує плавний запуск генератора і гарантує стабільну подачу електроенергії в систему автомобіля. Ефективність роботи генератора значною мірою залежить від якості його компонентів, правильності регулювання та відсутності несправностей у системі попереднього збудження та обмотках. У разі виникнення проблем, таких як несправність контрольної лампи чи порушення обмотки ротора, робота генератора буде ускладненою, що може вплинути на стабільність електропостачання автомобіля. (рис. 1.2) [2, 6].

Генератор обладнаний трьома клемами для підключення до зовнішніх електричних кіл:

- В+ відповідає за передачу струму для зарядки акумулятора.
- D+ забезпечує керовану подачу напруги збудження ротора, необхідну для регулювання вихідної напруги генератора.
- D- виконує функцію заземлення генератора.

Вихідна напруга, що виробляється генератором, подається на клему D+, що призводить до вимкнення контрольної лампи зарядного струму. Це відбувається через вирівнювання напруги з обох боків лампи, внаслідок чого струм через неї перестає протікати.

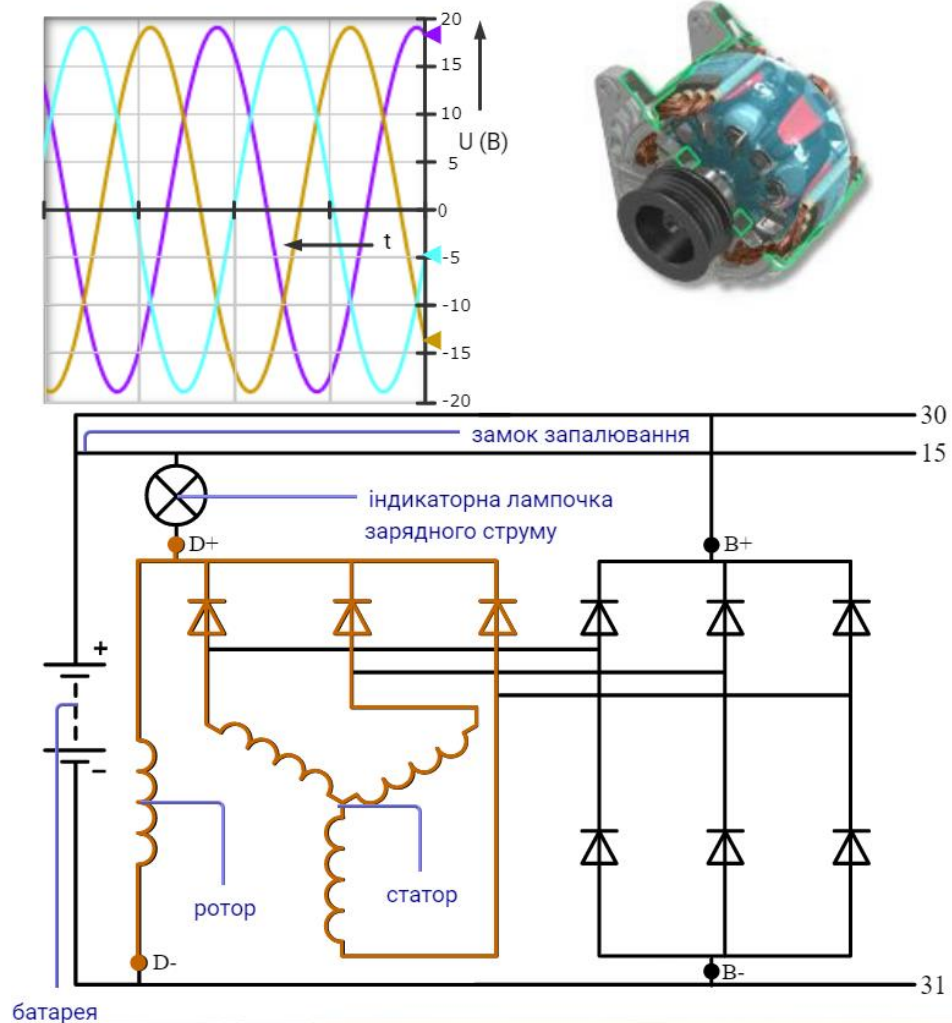


Рисунок 1.2 – схема збудження генератора

Формування вихідної напруги відбувається за рахунок обертання ротора з попередньо збудженим магнітним полем. Під час обертання, завдяки явищу електромагнітної індукції, в обмотках статора створюється трифазна напруга змінного струму.

Для перетворення цієї змінної напруги у постійну використовується випрямляч, або діодний міст, який входить до складу генератора. Після випрямлення синусоїдальна напруга кожної з обмоток статора трансформується у пульсуючу постійну напругу, що забезпечує живлення електричних систем автомобіля та зарядку акумулятора.

Таким чином, генератор виконує дві основні функції: формування трифазної змінної напруги в обмотках статора та її випрямлення для забезпечення стабільного електроживлення автомобільних систем. (рис.1.3).

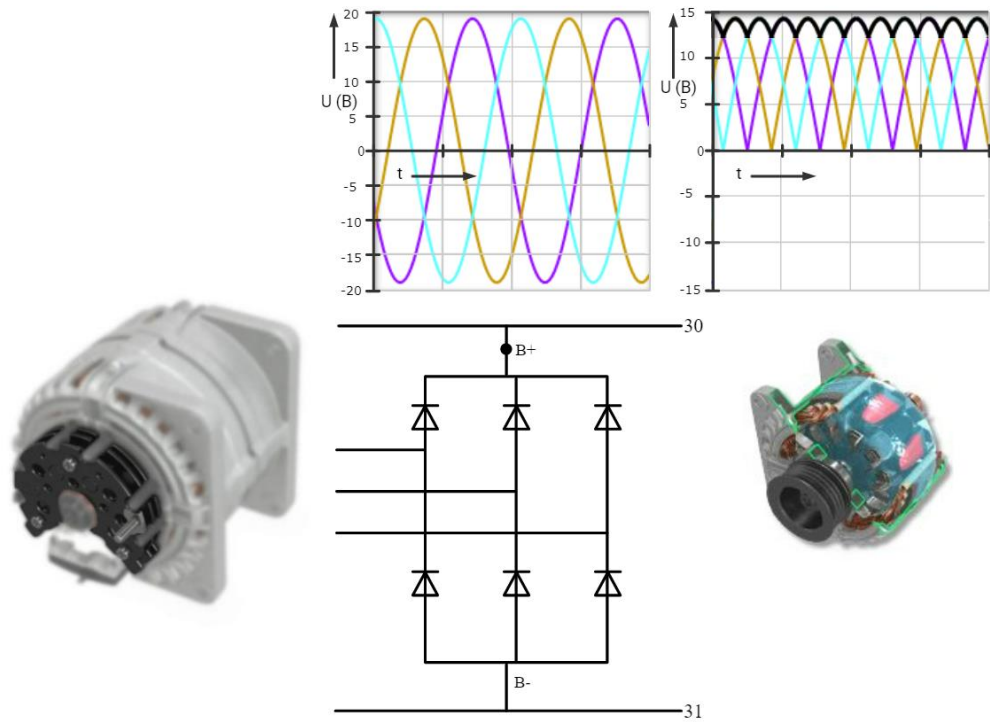


Рисунок 1.3 – Вирівнювання струму

Регулятор напруги (рис. 1.4). Пульсуюча напруга надходить до регулятора напруги, який підтримує стабільний і контрольований рівень вихідної напруги генератора.

Ця напруга повинна бути достатньо високою, щоб забезпечити нормальну роботу електричних пристроїв та зарядку акумулятора. Однак її рівень не повинен перевищувати допустимі значення, оскільки занадто висока напруга може спричинити пошкодження електроспоживачів і акумуляторної батареї.

Вихідна напруга генератора залежить, зокрема, від частоти обертання ротора, яка, у свою чергу, визначається частотою обертання двигуна. Генератор змінного струму розроблений таким чином, щоб забезпечувати необхідну напругу, приблизно 14,4 В, навіть при роботі двигуна на холостому ходу. Проте з підвищенням частоти обертання двигуна вихідна напруга генератора зростає і може досягти небезпечних значень. Для запобігання цьому в конструкції передбачено регулятор напруги, який контролює напруженість магнітного поля ротора.

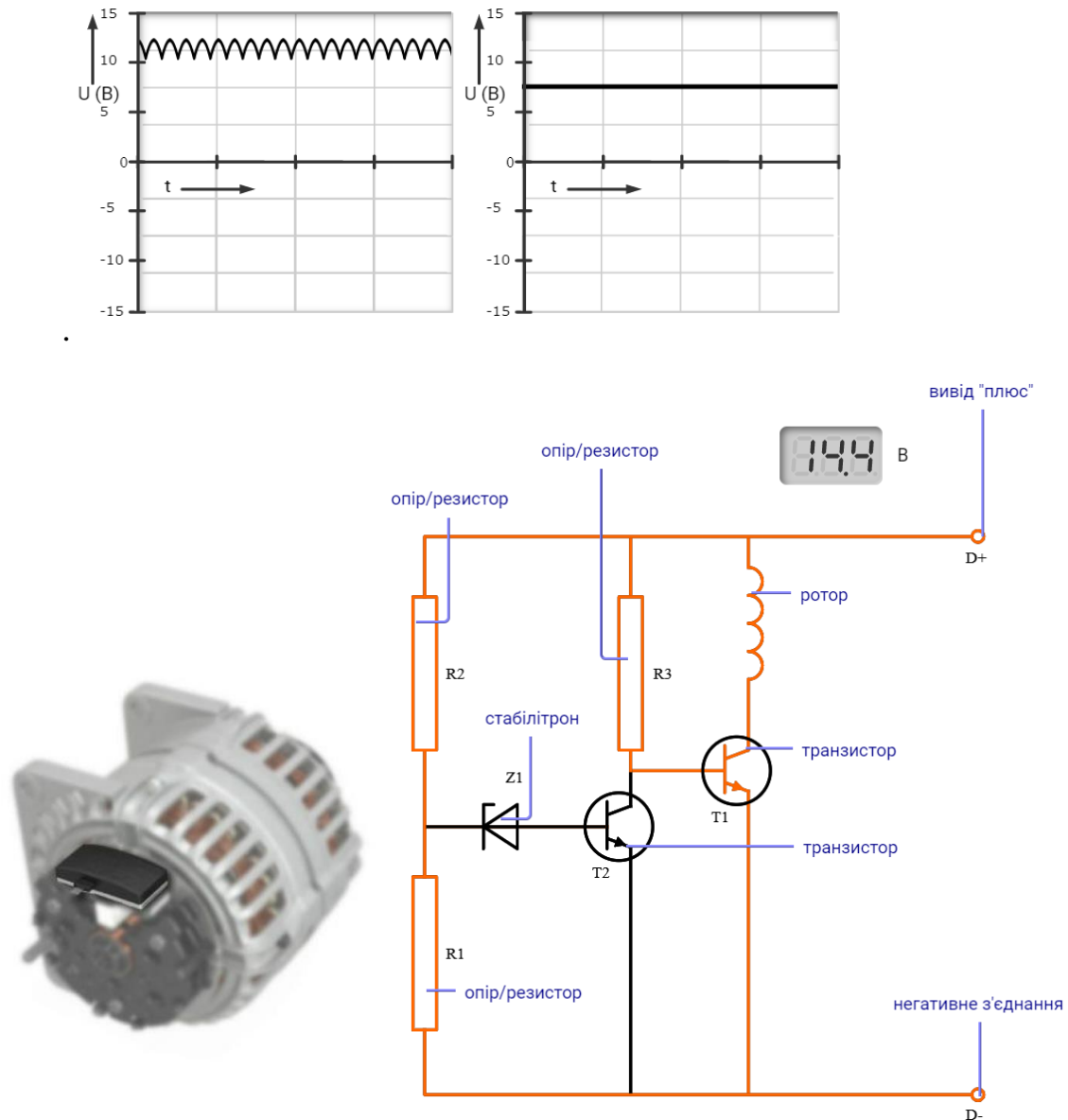


Рисунок 1.4 – Регулятор напруги

На сучасних автомобілях регулятор напруги може бути інтегрований у двигун або вбудований у модуль керування силовим агрегатом. Величина вихідної напруги залежить також від кількості обмоток статора, напруженості магнітного поля ротора та конструкції генератора. Регулювання напруженості магнітного поля здійснюється шляхом ввімкнення і вимкнення струму, що протікає через обмотку збудження ротора. У разі надмірної вихідної напруги магнітне поле ротора зменшується або повністю вимикається. Коли напруга знижується до допустимого рівня, магнітне поле знову активується, утворюючи цикл, що повторюється дуже швидко. Таким чином досягається середня напруженість поля, необхідна для стабільної роботи генератора.

Регулятор напруги відповідає за керування струмом через обмотку збудження. Якщо напруга на позитивному виводі генератора (С+) нижче еталонного значення (наприклад, 14,4 В), струм протікає через обмотку ротора, і генератор починає генерувати напругу. У разі перевищення напруги еталонного рівня активується стабілітрон і транзистор, який зупиняє подачу струму на обмотку ротора. Цикл вимкнення та ввімкнення струму повторюється, підтримуючи стабільний рівень напруги.

Ротор (рис. 1.5) генератора є ключовим елементом, що створює магнітне поле для генерування напруги у статорі. До його основних компонентів належать полюсні наконечники, які формують північні та південні полюси, якір для підсилення магнітного поля, обмотка збудження для активації магнітного поля, а також контактні кільця, через які подається струм на обмотку збудження. Усі компоненти ротора закріплені на валу, оснащеному підшипниками, що забезпечує обертання. Вентилятор, розташований на валу ротора, використовується для охолодження генератора під час його роботи.

Магнітне поле ротора активується пропусканням струму через обмотку збудження. Цей струм подається через графітові щітки та контактні кільця, забезпечуючи стабільну роботу генератора в різних умовах експлуатації.



Рисунок 1.5 – Будова ротора

Коли струм проходить через обмотку збудження, один полюс полюсного наконечника створює магнітне поле північної полярності, а інший полюс –

південної. Який із наконечників формує північну або південну полярність, залежить від напрямку струму в обмотці збудження.

Активоване магнітне поле ротора створює магнітне поле всередині генератора. Для його активації струм подається на обмотку збудження через графітові щітки та контактні кільця. Це магнітне поле є основою для подальшої генерації електричної енергії.

Струм, який виробляє генератор змінного струму, генерується у статорі (рис. 1.6). Статор трьохфазного генератора складається з магнітопроводу і трьох обмоток, які забезпечують утворення трифазної напруги [2, 4].

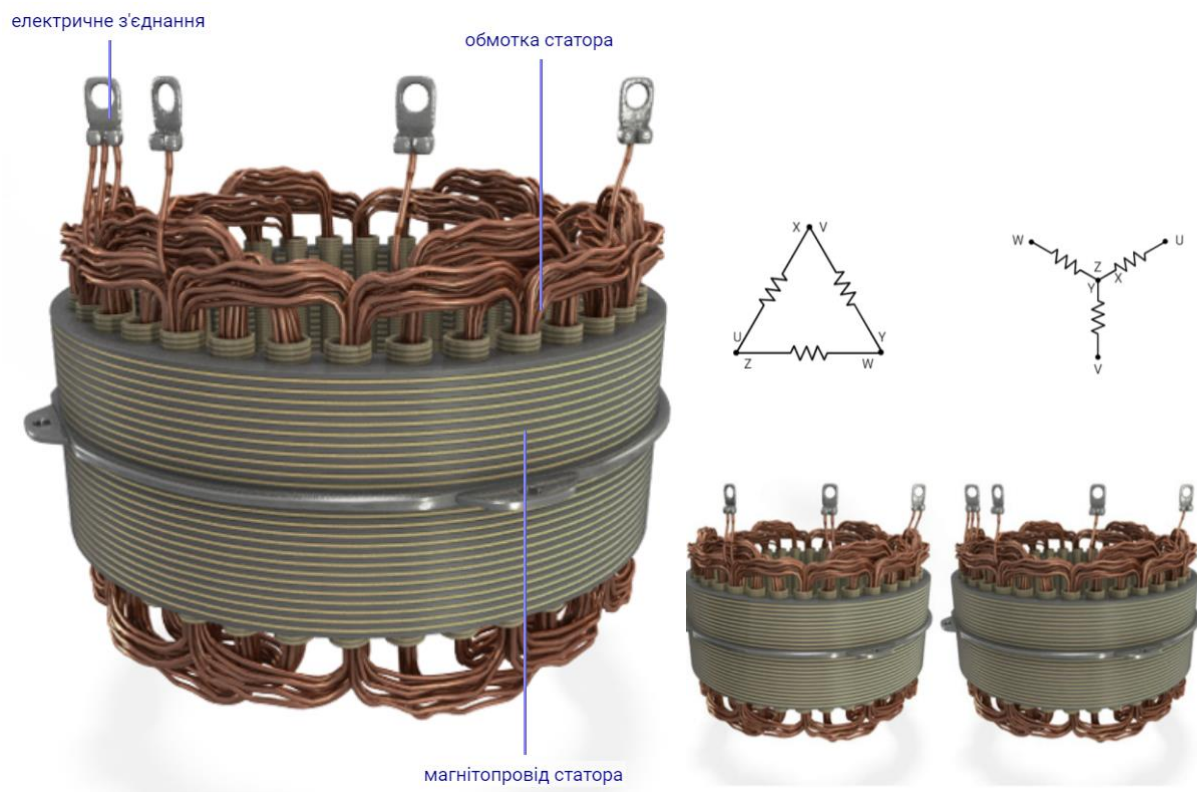


Рисунок 1.6 – Будова статора мотору

Магнітопровід статора складається з набору кільцеподібних пластин, між якими розміщується тонкий ізоляційний шар. Цей магнітопровід посилює магнітне поле, створене генератором, що, в свою чергу, сприяє збільшенню виробленої напруги.

Магнітопровід статора має спеціальні канали, в які укладені обмотки. Кожна з трьох обмоток статора складається з послідовно з'єднаних витків, в яких генерується електрична напруга.

Існують два варіанти підключення обмоток статора:

1. Схема з'єднання в трикутник (Delta circuit), що характеризується трьома виведеннями спарених проводів.

2. Схема з'єднання в зірку (Star circuit), яка включає чотири з'єднання: три з них — однопровідні, а одне — спільний вивід, в якому з'єднані кінці трьох обмоток.

Схема з'єднання в зірку є найпоширенішою, оскільки дозволяє швидше досягти необхідної величини напруги. Схему з'єднання в трикутник використовують, коли генератор має забезпечити великий струм.

1.2 Дослідження функціонування стартера

Електродвигун стартера (рис. 1.7) розташований на блоці двигуна або коробці передач.

Його основна функція — запуск двигуна внутрішнього згорання. Для цього зубчасте колесо стартера (pinion gear) входить у зачеплення із зубчастим вінцем маховика (flywheel ring gear) двигуна внутрішнього згорання [3, 5].

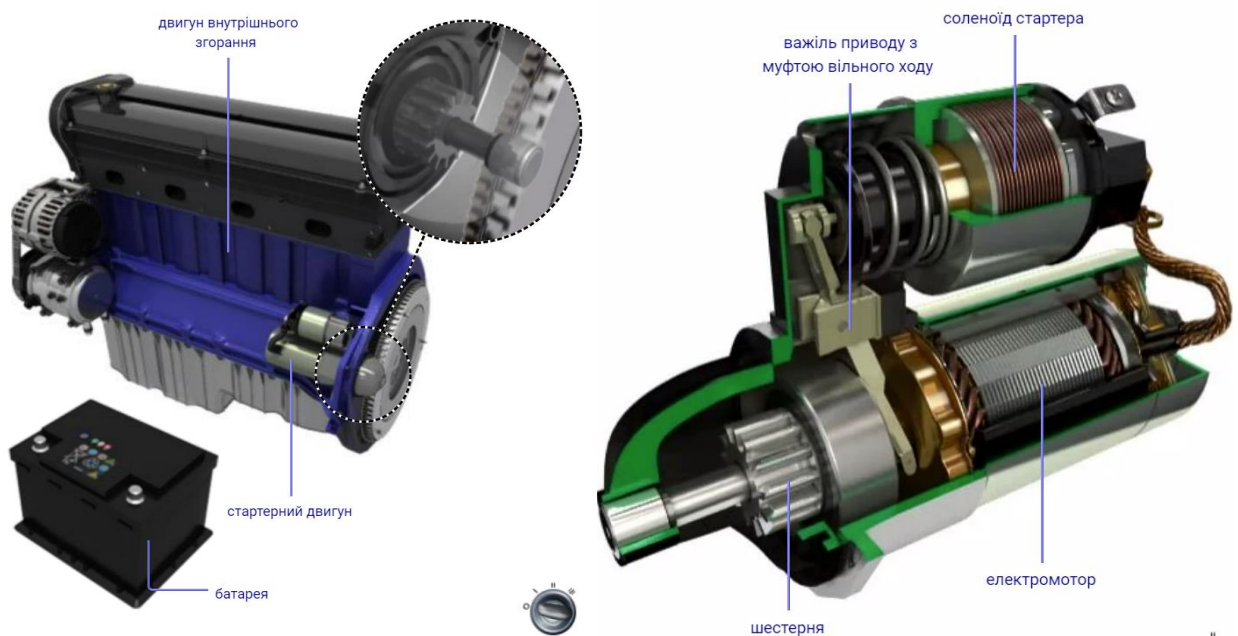


Рисунок 1.7 – Будова і розміщення стартера

Стартер працює на основі електродвигуна, який отримує необхідну електроенергію від акумуляторної батареї.

Ключові компоненти стартера та їх функції:

◆ Соленоїд стартера. Коли ключ запалювання переводиться у положення "START", соленоїд активує електродвигун і водночас приводить у рух важіль приводу.

◆ Важіль приводу. Цей механізм переміщує ведучу шестерню вздовж валу електромотора, зчіплюючи її зуби із зубчастим вінцем маховика. Після запуску двигуна і повернення ключа запалювання у вихідне положення ведуча шестерня виходить із зачеплення, запобігаючи обертанню електродвигуна стартера двигуном.

◆ Електромотор. Електродвигун передає рух маховику двигуна через зубчасту передачу.

Соленоїд стартера (рис. 1.8) має дві обмотки: втягуючу та утримуючу. Зарядка соленоїда забезпечується через трифазний поділ цих обмоток.

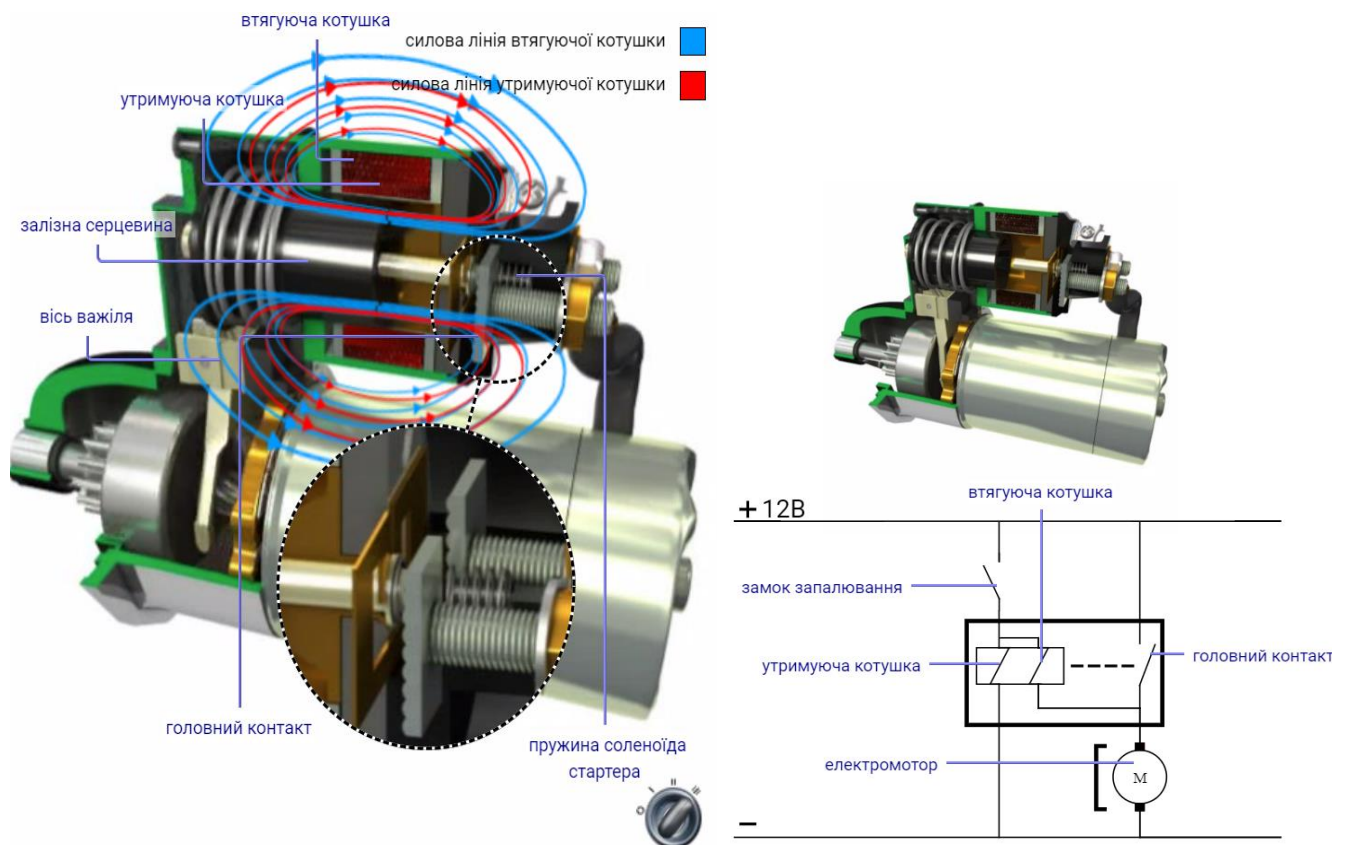


Рисунок 1.8 – Будова стартера і реле

Під час першої фази струм проходить через обидві котушки соленоїда, створюючи магнітне поле. Це збуджує залізну серцевину соленоїда стартера, яка приводить у рух важіль приводу стартерного двигуна.

На другій фазі контакти соленоїда перенаправляють основний струм так, щоб він проходив через електродвигун стартера. Утримуюча котушка залишається під напругою, утримуючи серцевину на місці, тоді як струм через втягуючу котушку припиняється.

На третій фазі замок запалювання перестає використовуватися, і струм не подається. Залізна серцевина повертається у вихідне положення завдяки пружині.

Принцип роботи електричної частини соленоїда стартера базується на його конструкції, що включає дві котушки і три контактні болти, з'єднані паралельно.

На першій фазі електричний струм проходить через втягуючу котушку, а потім через електродвигун до заземлення. Одночасно струм проходить через утримуючу котушку через корпус стартерного двигуна до заземлення. Залучення обох котушок дозволяє соленоїду реагувати швидше і створювати більше зусилля, необхідного для швидкого приведення в дію важеля приводу.

На другій фазі головні контакти замикаються, і через електродвигун проходить струм великої сили. Для запобігання перегріву соленоїда при повторних запусках струм через втягуючу котушку припиняється. Потужності утримуючої котушки достатньо для підтримання соленоїда в робочому стані.

На третій фазі замок запалювання вимикається, і струм більше не подається.

Важіль приводу з муфтою вільного ходу (рис. 1.9) є одним із ключових компонентів стартерного двигуна. Його завдання включають керування шестернею, коли стартерний двигун увімкнений, і запобігання передачі крутного моменту від двигуна внутрішнього згоряння на вал електродвигуна стартера.

Принцип роботи полягає в тому, що при повороті ключа запалювання соленоїд стартера тягне важіль приводу, який, у свою чергу, з'єднаний із шестернею приводу стартера. Важіль переміщує шестерню приводу в зачеплення із зубчастим вінцем маховика. Після відпускання ключа запалювання стартерний двигун вимикається, а пружина соленоїда повертає

серцевину і важіль приводу у вихідне положення, виводячи шестерню із зачеплення із зубчастим вінцем маховика [3, 5].

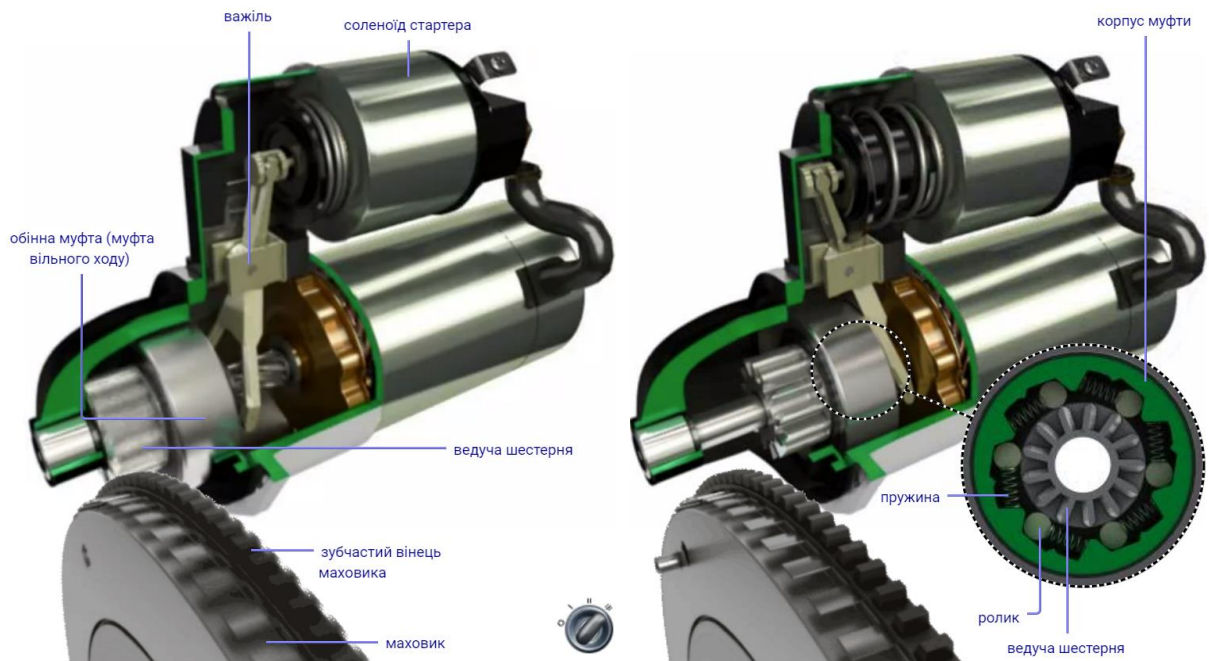


Рисунок 1.9 – Важіль приводу стартера та обгінна муфта.

Різьба, нанесена на вал якоря, забезпечує обертання шестерні, сприяючи її плавному зчепленню із зубчастим вінцем під час увімкнення стартера та розчепленню під час вимкнення.

Обгінна муфта, або муфта вільного ходу, дозволяє шестерні вільно обертатися в одному напрямку та блокує її обертання в протилежному. Ця конструкція запобігає запуску стартерного мотору двигуном внутрішнього згоряння, якщо шестерня залишається в зчепленні, наприклад, коли водій не відпустив ключ запалювання після запуску двигуна.

Коли стартерний мотор запускає двигун, ролики всередині обгінної муфти заклинюються між шестернею та корпусом муфти, що дозволяє стартерному двигуну одночасно керувати і шестернею, і корпусом муфти.

Якщо стартерний двигун працює, коли двигун внутрішнього згоряння вже увімкнений, ДВЗ починає обертати шестерню швидше, ніж стартерний мотор. У цьому випадку пружина виштовхує ролики в зону, де вони можуть обертатися вільно. Це роз'єднує шестерню від корпусу муфти, дозволяючи корпусу муфти та стартерному двигуну обертатися незалежно від роботи двигуна.

1.3 Розгляд видів і типів акумуляторних батарей

Свинцево-кислотна акумуляторна батарея, або стартерний акумулятор, виконує дві основні функції. По-перше, вона генерує електричну енергію через хімічну реакцію, забезпечуючи живлення для запуску двигуна та роботи електронних аксесуарів, коли двигун вимкнений. По-друге, акумулятор виконує роль буфера, згладжуючи стрибки струму. Це забезпечує додаткову енергію під час перепадів напруги, стабілізуючи її та зменшуючи навантаження на генератор.

Акумулятор зазвичай розташований у відсіку двигуна, але іноді його можна знайти в багажнику або під переднім чи заднім сидінням. На кожній акумуляторній батареї вказана інформація про її тип, що відповідає певним стандартам. Серед організацій, які встановлюють ці стандарти, можна виділити:

- SAE (Американське Співтовариство транспортних інженерів),
- DIN (Німецький інститут стандартизації),
- EN (Європейський стандарт),
- IEC (Міжнародна електротехнічна комісія).

Ці організації проводять випробування акумуляторів у різних умовах, тому стандарти відрізняються між собою. При використанні випробувальних стендів необхідно вказувати, за яким стандартом сертифіковано акумулятор.

На корпусі акумулятора зазвичай зазначаються такі характеристики, як:

12V/60 A/h/620 A:

- 12 V — напруга акумулятора (12 вольт).

- 60 A/h — ємність, тобто максимальна кількість електричної енергії, яку акумулятор може накопичувати. Цей показник визначається при розряді протягом 20 годин до кінцевої напруги 10,5 В за температури $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Наприклад, за цих умов акумулятор може забезпечувати струм силою 3 А протягом 20 годин ($60\text{ A/h} \div 20 = 3\text{ A}$).

- 620 А — сила струму холодного пуску, яка згідно зі стандартом DIN дозволяє подавати струм 620 А протягом 30 секунд із кінцевою напругою 9 В при температурі $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. [3, 6]

Свинцево-кислотна акумуляторна батарея (рис. 1.10) складається з контейнера з шістьма елементами, мінусової клеми та плюсової клеми.

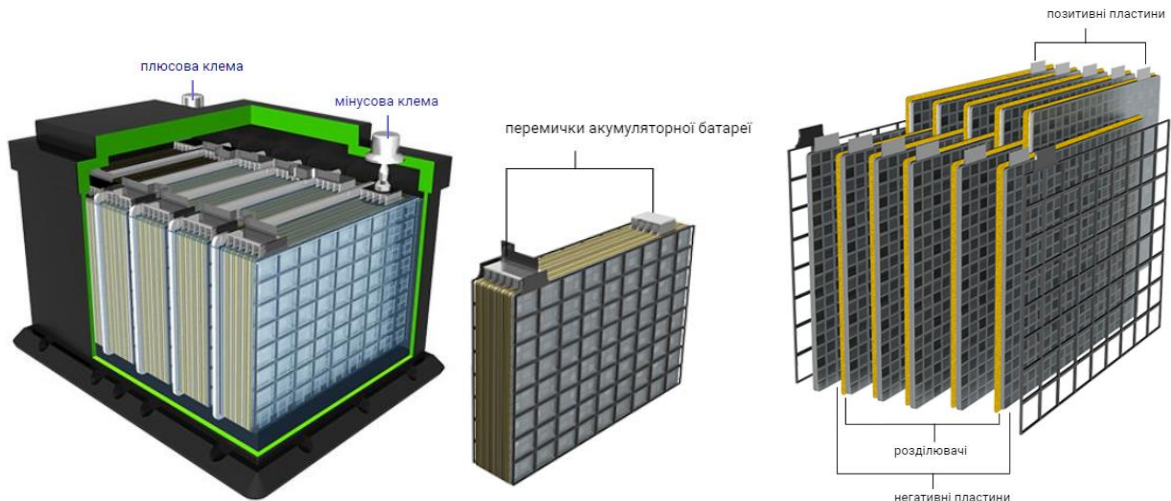


Рисунок 1.10 – Будова АКБ

Кожен елемент акумулятора здатний генерувати напругу 2,1 вольт. При послідовному з'єднанні елементів за допомогою перемичок акумулятор забезпечує загальну напругу 12,6 вольт.

Елемент акумулятора включає такі складові:

- позитивні пластини,
- негативні пластини,
- розділювачі, які відокремлюють позитивні пластини від негативних,
- перемички, що об'єднують всі позитивні пластини в один ланцюг, а всі негативні — в інший.

Принцип роботи акумулятора в процесі розрядження (рис. 1.11) полягає у взаємодії двох свинцевих пластин, розташованих у контейнері, заповненому електролітом. У зарядженому стані на негативній пластині накопичується надлишок електронів, створюючи значну різницю потенціалів між пластинами.

Коли до акумулятора підключається споживач енергії, наприклад лампа, починається розрядження. Електрони переміщуються з негативної пластини

на позитивну через підключений пристрій, забезпечуючи його роботу. У процесі розрядження напруга між пластинами поступово знижується.

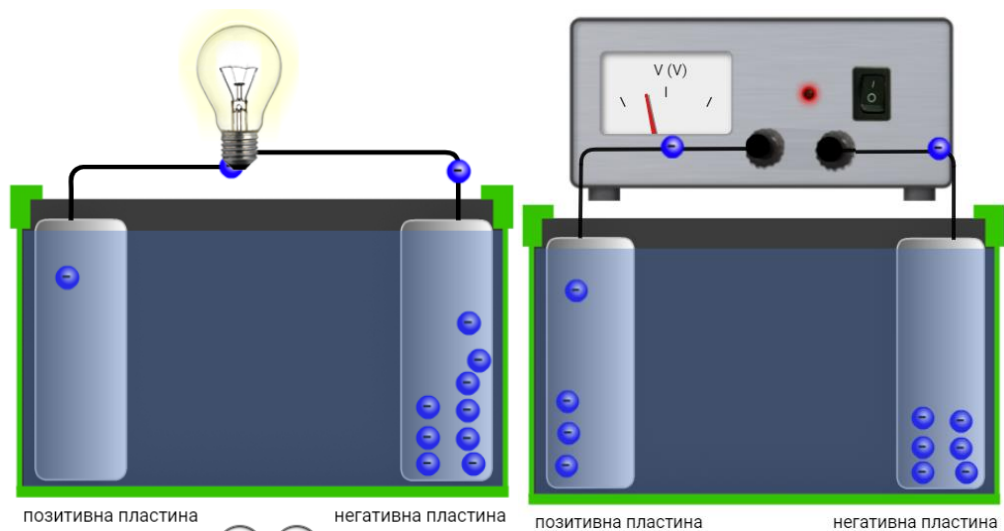


Рисунок 1.11 – зарядження АКБ

У розрядженому стані акумулятора між негативно зарядженими частинками на обох пластинах встановлюється стан рівноваги, і різниця напруги відсутня.

Зарядження починається, коли до пластин підключають зарядний пристрій. Під його дією електрони переміщуються з позитивної пластини на негативну, що призводить до поступового збільшення різниці напруги між пластинами.

Хімічні реакції під час розрядження. Електроліт у акумуляторі складається із сірчаної кислоти (H_2SO_4) та води (H_2O). У зарядженому стані позитивна пластина складається з діоксиду свинцю (PbO_2), а негативна — зі свинцю (Pb).

Під час розрядження (рис. 1.12) сірчана кислота реагує зі свинцем негативної пластини, утворюючи сульфат свинцю (PbSO_4), при цьому виділяються негативно заряджені електрони. Позитивно заряджені іони водню (H^+) залишаються в електроліті.

Електрони проходять через підключений споживач енергії (наприклад, лампу) до позитивної пластини, тоді як іони водню рухаються через електроліт. На позитивній пластині діоксид свинцю реагує із сірчаною

кислотою та воднем, утворюючи сульфат свинцю і воду, при цьому електрони поглинаються.

У процесі розрядження в електроліті збільшується кількість води, а сірчана кислота поглинається пластинами, що призводить до зменшення кислотності електроліту.

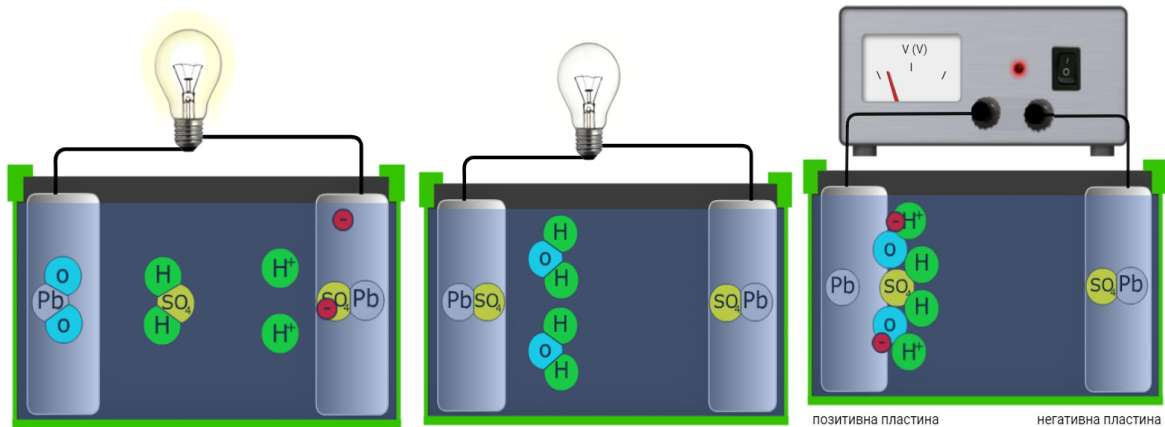


Рисунок 1.12 – процес розряду АКБ

Хімічні реакції під час заряджання. У розрядженому стані обидві пластини акумулятора складаються із сульфату свинцю (PbSO_4).

Під час процесу заряджання вода (H_2O) вступає в реакцію із сульфатом свинцю на позитивній пластині, утворюючи діоксид свинцю (PbO_2) та сірчану кислоту (H_2SO_4). У цьому процесі вивільняються негативно заряджені іони водню (H^+).

На негативну пластину через зарядний пристрій надходять електрони, а через електроліт рухаються іони водню. Водень реагує з сульфатом свинцю на негативній пластині, утворюючи свинець (Pb) і сірчану кислоту. У результаті заряджання кислотність електроліту збільшується.

Основні типи свинцево-кислотних акумуляторних батарей. Свинцево-кислотні акумулятори поділяються на два основні типи:

1. Вентиляційні (обслуговуючі) батареї — передбачають можливість доливання дистильованої води.

2. Герметичні (необслуговуючі) батареї — їх елементи не можна дозаправляти. У багатьох таких батареях є контрольний індикатор. Варто зауважити, що вбудований ареометр відображає стан заряду лише одного з

шести елементів батареї й не може використовуватись для контролю стану заряду всієї акумуляторної батареї. По кольору індикатора можна визначити таке:

- зелений: акумулятор в батареї заряджений більш ніж на 65%.
- чорний: акумулятор в батареї заряджений менше ніж на 65%.
- світлий: рівень електроліту в контрольованому акумуляторі дуже низький.

У стандартній свинцево-кислотній акумуляторній батареї простір між пластинами заповнений рідким електролітом. Свинцево-кислотна акумуляторна батарея добре підходить для використання як стартерна батарея, оскільки вона здатна подавати струм великої сили за короткий час і швидко відновлювати заряд.

Однак є й недоліки:

- У свинцево-кислотних акумуляторів відносно невелика електрична ємність.
- Акумулятор може використовувати лише обмежену кількість потужності. Гелева акумуляторна батарея

Під час заправки елементів гелевої акумуляторної батареї в рідкий електроліт додається загущувач. В результаті отримується дуже густий гель.

Переваги гелевих акумуляторних батарей:

- Електроліт не витікає з акумулятора, навіть якщо корпус пошкоджено.
- Самозаряд акумулятора менший, ніж у звичайної свинцево-кислотної батареї (самозаряд — це розрядження батареї, коли вона не використовується).
- Таку батарею можна встановлювати в будь-якому місці автомобіля, за умови що вона буде в вертикальному положенні.

Недоліки гелевих акумуляторних батарей:

- Перезарядка батареї скорочує її термін служби та знижує потужність.
- Процес заряджання цієї батареї повільніший, ніж у звичайної свинцево-кислотної батареї.
- Вища вартість.

Гелеві акумулятори є герметичними, і перевірити їх стан можна лише вимірявши напругу на вивідних клемах.

AGM-батарея. У AGM-батарей ("Absorbed Glass Mats", Поглинаючий скловолокновий мат) між пластинами розміщується скловолокновий мат, просочений електролітом. Ця конструкція запобігає витоку електроліту.

Переваги AGM-батарей порівняно з гелевою:

- Ємність акумулятора зменшується за низьких температур, але AGM-батарея менш чутлива до холоду.

- Великий термін служби.

- Можна встановлювати в будь-якому положенні, навіть догори дном.

Усі недоліки гелевих акумуляторів стосуються також і AGM-акумуляторів. AGM-акумулятори є герметичними, і їх стан можна перевірити лише за допомогою вимірів.

EFB-акумуляторна батарея (або ЕСМ-батарея). EFB-акумулятор (англ. Enhanced Flooded Battery) або ЕСМ-батарея (англ. Enhanced Cycling Mat) була спеціально розроблена для комерційних автомобілів. У цій герметичній батареї між пластиною та сепаратором знаходиться поліефірна мембрана (сітка).

Переваги EFB-батарей порівняно з гелевою:

- Висока пускова потужність.

- Ідеально підходить для автомобілів з підвищеним споживанням енергії.

- Довгий термін служби.

- Не потребує обслуговування.

- Висока вібростійкість.

- Покращена циркуляція електроліту забезпечує рівномірну кислотність по всій батареї.

- Поліефірна мембрана (сітка) запобігає ерозії пластини.

Продуктивність цієї батареї є середнім варіантом між AGM-батареею та стандартною свинцево-кислотою батареєю.

Перевірка акумулятора без тестера. Якщо у вас немає тестера акумулятора, ви можете перевірити стан батареї за допомогою мультиметра.

Внутрішній опір дає важливу інформацію про стан батареї. Наприклад, виробник вказує, що максимальний внутрішній опір може становити 2,5, поділене на силу струму при холодному запуску.

Щоб розрахувати внутрішній опір батареї, виконайте наступне:

- Виміряйте напругу джерела (U_v) і напругу на клемі (U_k).
- Обчисліть падіння напруги на внутрішньому опорі ($U_{ri} = U_v - U_k$).
- Виміряйте струм навантаження (I).
- Обчисліть внутрішній опір ($R_i = U_{ri} / I$) [3, 6].

1.4 Обґрунтування вибору теми кваліфікаційної роботи

Технічний рівень сучасних автомобілів постійно вдосконалюється, з'являються нові компоненти та системи, а вимоги до їх надійності та безпеки експлуатації зростають. За даними різних джерел, значний вклад у загальну надійність електричного обладнання автомобілів вносять генератор і стартер.

Електричне обладнання автомобіля можна поділити на шість основних систем: систему електропостачання, систему пуску, систему запалювання, освітлювальну та світлову сигналізацію, контрольно-вимірювальні прилади та допоміжне електроустаткування [1, 6].

Генератор автомобіля забезпечує живлення всіх електричних споживачів під час роботи двигуна та поповнює енергію акумуляторної батареї, витрачену на запуск двигуна. Стартер, разом з акумуляторною батареєю, відповідає за запуск двигуна внутрішнього згорання, переводячи його з стану спокою в режим самостійної роботи.

Якісна робота генератора та системи електропостачання автомобіля має великий вплив на функціонування та термін служби інших електричних приладів. Наприклад, коливання напруги в межах $\pm 5\%$ від номінального значення (14,2 В) можуть призвести до змінення світлового потоку на $\pm 20\%$, що, у свою чергу, зменшує термін служби ламп у два рази. Підвищене

споживання енергії стартером під час запуску двигуна, особливо при його несправності, істотно скорочує термін служби акумуляторної батареї. Тому своєчасна та точна діагностика технічного стану стартера та генератора є важливим завданням.

Несправності генератора чи стартера не завжди проявляються відразу у вигляді критичних проблем, таких як неможливість запуску двигуна або відсутність заряду акумулятора. Спочатку можуть виникати незначні відхилення від норми, які можна помітити візуально. Наприклад, освітлення фар може стати менш яскравим, або стартер може прокручувати двигун повільніше, ніж зазвичай. У такому випадку рекомендується зняти стартер або генератор і провести їх повну перевірку на спеціалізованому стенді, що дозволяє виявити навіть приховані дефекти.

Мета роботи полягає в модернізації стенду для випробувань генераторів і стартерів з метою підвищення ефективності їх діагностики та ремонту.

Об'єктом дослідження є ефективність функціонування стендів, призначених для тестування генераторів і стартерів.

Предметом дослідження виступають несправності генераторів і стартерів, а також процеси їх випробувань.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Проаналізувати систему електрообладнання автомобіля та найпоширеніші види несправностей.
2. Провести огляд стендів для тестування електрообладнання, представлених на ринку.
3. Виявити недоліки існуючих стендів та визначити шляхи їх вдосконалення.
4. Здійснити модернізацію обраного випробувального стенду з урахуванням виявлених проблем.
5. Обґрунтувати техніко-економічну доцільність проведеної модернізації.

2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ СТЕНДІВ ТА ОЦІНКА ЇХ ПЕРЕВАГ І НЕДОЛІКІВ. ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ

2.1 Визначення основних несправностей в системі електрообладнання автомобіля

Генераторна установка вважається справною, якщо вона забезпечує належний заряд акумуляторної батареї, генерує напругу, достатню для живлення електричної системи автомобіля, та працює без надмірного шуму. Сучасні генератори є високонадійними пристроями, і проблеми з ними часто виникають через відсутність контакту або коротке замикання в проводці, спрацьовування запобіжників, вихід з ладу амперметра тощо.

Неякісне з'єднання між виходами генератора і регулятором напруги може призвести до порушення стабільності вихідної напруги системи електропостачання. Зокрема, підвищений опір на ділянці між висновками «маса» генератора та регулятора може викликати перезаряд акумулятора через підвищення напруги генераторної установки. У випадку автомобілів ВАЗ опір не повинен перевищувати 0,01 Ом. При підвищеному опорі між генератором і регулятором напруги часто спостерігається миготіння лампи контролю заряду на панелі приладів, особливо при низьких оборотах двигуна. Такі проблеми можуть виникнути через ослаблення пружини тримача запобіжника в ланцюгу регулятора, поганий контакт у вимикачі запалювання або в роз'ємних з'єднаннях, а також через порушення з'єднання з масою автомобіля.

Якщо амперметр показує малий струм або стоїть на нулі при працюючому двигуні, це не обов'язково вказує на несправність генератора — акумулятор може бути просто повністю розряджений. У такому випадку слід відстежувати покази амперметра після запуску двигуна. Якщо струм поступово збільшується, це свідчить про справність генератора.

Інформацію про працездатність генератора можна отримати за допомогою контрольної лампи, що вказує на рівень заряду акумулятора.

Спочатку потрібно перевірити працездатність лампи, реле її включення та всі з'єднання схеми, включаючи контакти вимикача запалювання. Якщо лампа не горить при вимкненому двигуні, це може свідчити про коротке замикання в обмотці статора або в мінусових діодах. Після запуску та нормалізації роботи двигуна лампа повинна згаснути, якщо генератор працює належним чином. Проте контрольна лампа не може виявити відмову регулятора напруги, зокрема через проблеми з вихідним транзистором. У такому випадку лампа гасне, але напруга генератора може перевищувати допустимі значення.

Для точнішого діагностування працездатності генератора доцільно використовувати вольтметр з діапазоном вимірювання до 15-30 В. Нормальна напруга повинна бути в межах 13-15 В. Низька напруга може бути викликана несправністю як генератора, так і регулятора, в той час як висока вказує на проблему з регулятором або високий опір в ланцюзі. Причиною низької напруги також може бути слабкий натяг приводного ременя, що вимагає перевірки.

Перевірку справності генератора та відповідності технічним вимогам можна здійснити на спеціалізованому стенді, знявши генераторну установку з двигуна. Характерні несправності генераторних установок та методи їх усунення наведено в таблиці 2.1.

Щодо стартерної установки: якщо при включенні стартера якор не обертається або обертається дуже повільно, це може свідчити про несправність тягового реле. Збільшений рівень шуму під час обертання якоря також може бути ознакою механічної несправності стартера.

Несправності статора виникають, коли одна з котушок обмотки контактує з пакетом пластин магнітопроводу, що призводить до короткого замикання на "масу", або коли в обмотці відбувається розрив провідника, що порушує замкнутість кола [1, 6].

Таблиця 2.1 – Несправності генераторних установок та їх усунення

| Причина несправності | Спосіб усунення |
|---|--|
| Окислення клемів акумуляторної батареї | Очищення та змащення висновків, використання спеціальних антикорозійних засобів для клем |
| Відмова акумуляторної батареї | Заміна акумуляторної батареї на відповідну модель з перевіркою рівня заряду та стану електроліту |
| Порушення проводки між елементами | Перевірка проводів на наявність пошкоджень, підтягування болтових з'єднань, перевірка надійності штекерних з'єднань, ізоляція пошкоджених ділянок |
| Спрацювання запобіжника в ланцюзі регулятора напруги | Встановлення причини спрацювання (перевірка на коротке замикання або перегрів), заміна запобіжника, перевірка надійності електричних з'єднань |
| Слабкий натяг приводного ремня | Підтягування ремня до рекомендованої напруги, перевірка на наявність зносу або пошкоджень ремня, заміна при необхідності |
| Несправність генератора | Якщо при короткочасному замиканні клем регулятора амперметр не показує стрибків сили зарядного струму, а вольтметр – напруги, зняти генератор для ремонту, перевірити на коротке замикання або знос в обмотках, замінити пошкоджені елементи |
| Несправність регулятора напруги | Якщо спостерігаються стрибки зарядного струму та напруги при попередніх перевірках, замінити або відремонтувати регулятор, перевірити його на відповідність технічним характеристикам |
| Відмова елементів транзисторного регулятора напруги | Відправити регулятор на ремонт або замінити, перевірити паяльні з'єднання та транзистори на наявність пошкоджень чи тріщин |
| Підвищене падіння напруги в контактних з'єднаннях між регулятором та бортовою мережею | Перевірити всі контактні з'єднання в ланцюгах вимикача запалювання, запобіжників, штекерних і гвинтових з'єднаннях, замінити пошкоджені з'єднання, перевірити якість з'єднання регулятора з "масою" |
| Несправність діодного моста | Перевірити діоди моста на коротке замикання або високий опір, замінити несправні діоди |
| Недостатня ефективність зарядки | Перевірити правильність встановлення генератора, ефективність охолодження, перевірити на знос щітки та колектор генератора |
| Високий рівень вібрації генератора | Перевірити на наявність механічних пошкоджень на підшипниках або кріпленнях, замінити пошкоджені деталі |

Стан статора можна перевірити за допомогою мультиметра (рис. 1.12). Опір обмоток повинен бути низьким, приблизно 0,05 Ом. Опір між обмотками статора та магнітопроводом має бути практично нескінченним [6].



Рисунок 2.1 – Спосіб діагностування статора стартера.

2.2 Огляд випробувальних стендів для електрообладнання автомобілів, доступних на ринку

Стенди для тестування автомобільних генераторів і стартерів повинні забезпечувати можливість перевірки основних параметрів, таких як напруга, сила струму, ефективність роботи компонентів та інші важливі показники.

Особливістю перевірки цих пристроїв є необхідність їх демонтажу з автомобіля та подальшого встановлення і фіксації на випробувальному стенді. Цей процес важливий для точного вимірювання та оцінки їхнього стану під навантаженням.

На сьогоднішньому ринку представлена велика кількість стендів для перевірки автомобільних електричних систем. Якісні моделі таких стендів зазвичай мають високу ціну, але для зниження витрат можна розглянути

можливість модернізації дешевших моделей, що дозволить покращити їхні функціональні можливості без суттєвих додаткових витрат.

Ось деякі з найпопулярніших стендів для діагностики електрообладнання автомобілів.

Stahlwille 24303. Цей стенд спеціалізується на тестуванні стартерів та генераторів, зокрема для легкових і вантажних автомобілів.

СТ-5600 Цей стенд дозволяє тестувати як генератори, так і стартери в умовах, наближених до реальних. Він підтримує перевірку параметрів, таких як вихідна напруга, зарядний струм та характеристики стартерів під час запуску двигуна. Стенд оснащений сучасним програмним забезпеченням, що дозволяє точно визначати несправності.

Motor Test ST 50 Цей тестер може використовуватися для перевірки не лише генераторів і стартерів, але й інших компонентів електричних систем, таких як реле і регулятори напруги. Він має функцію діагностики ефективності роботи генератора на різних режимах, що дозволяє швидко виявляти несправності.

GY-12A Стенд для тестування автомобільних генераторів і стартерів, який має простий і зручний інтерфейс. Включає в себе можливість перевіряти різні типи генераторів на їхню здатність підтримувати стабільну напругу при змінних навантаженнях, а також тестувати стартери на швидкість обертання якоря під час запуску двигуна.

TEXA 890 Цей стенд широко використовується в автосервісах для детальної діагностики генераторів, стартерів та інших електричних компонентів автомобіля. Він оснащений програмним забезпеченням, яке дозволяє здійснювати не лише перевірку параметрів, а й проводити більш глибокий аналіз стану електричної системи автомобіля, що значно полегшує виявлення неполадок.

Ці стенди дозволяють здійснювати комплексні перевірки, що робить їх важливими інструментами в діагностиці та ремонті електрообладнання автомобілів.

Один із прикладів таких стендів — MS002 COM 12/24 V (рис. 2.2), який дозволяє тестувати генератори та стартери з різними параметрами, включаючи COM, P-D, DFM, D+, RLO, C, SIG, F/67. Цей універсальний стенд дозволяє проводити діагностику генераторів та стартерів для автомобілів з напругою 12 та 24 В. Він перевіряє параметри, такі як струм, напруга, ефективність роботи регулятора напруги та інші. Стенд має кілька інтерфейсів, що забезпечує сумісність з різними типами електричних систем. Модернізація таких стендів дозволить значно підвищити точність і ефективність діагностики, а також зробити їх більш універсальними для різних типів автомобільного обладнання.



Рисунок 2.2 – Стенд для діагностики MS002 COM 12 24 V

Стенд MSG MS002 COM призначений для перевірки 12- та 24-вольтових автомобільних генераторів у двох режимах: з різним навантаженням і без нього, а також стартерів у режимі холостого ходу. Він також дозволяє тестувати реле-регулятори, зняті з генератора, із фіксацією помилок у COM-протоколах.

Стенд MS002 COM допомагає перевірити основні робочі характеристики електрообладнання автомобіля, виявити можливі несправності та провести контрольні випробування після ремонту агрегатів.

Серед переваг стенду можна відзначити: зручність у використанні, швидкість перевірки та точність вимірюваних параметрів роботи

електроагрегатів. Додатково стенд оснащений системою автоматичного кріплення і підключення приводу агрегату. Він також має можливість перевірки реле-регуляторів генераторних установок з різними терміналами (COM, P-D, DFM, D+, RLO, C, SIG, F/67). Крім того, передбачено плавне регулювання обертів генератора та струму навантаження до 200 А. Кольоровий дисплей з діагоналлю 4,3 дюйма і сучасний дизайн роблять роботу з цим стендом комфортною. Ціна стенду складає 250 000 грн.

Іншим популярним стендом є SPIN Banchetto JUNIOR, який призначений для перевірки як генераторів, так і стартерів.



Рисунок 2.3 – Стенд SPIN Banchetto JUNIOR для перевірки генераторів і стартерів 380 В

Цей компактний випробувальний стенд дозволяє проводити прискорені тести для генераторів і стартерів на 12 В і 24 В. Він оснащений усіма необхідними засобами для забезпечення збудження електронних генераторів, що дозволяє швидко перевіряти їх роботу під різними умовами. Стенд здатний тестувати генератори і стартери без навантаження або з використанням реостата з індикатором навантаження, а також різні електричні споживачі при номінальних напругах 12 В і 24 В.

Технічні характеристики стенду включають трифазний двигун потужністю 2 к.с. з ременями "V" і "Poli V", реостат навантаження на 200 Вт (для 12 В), вольтметр з діапазоном 0-40 В і амперметр з центральним "о" на 50-0-50 А для загальних перевірок і на 0-1000 А для тестування стартерів. Крім того, є щит для ременя з мікровимикачем і індикатором, а також трифазне живлення (ЕВ380). Стенд працює від акумулятора (акумулятор не входить в комплект поставки) на 12 і 24 В. Ціна стенду складає 95 000 грн.

Цей компактний випробувальний стенд дозволяє ефективно проводити прискорені тести генераторів і стартерів на 12/24 В. Він оснащений необхідними інструментами для забезпечення збудження електронних генераторів, що дозволяє швидко перевіряти їх роботу. Тести, які проводяться на цьому стенді, включають перевірку генераторів на 12/24 В з реостатом і індикатором навантаження, а також тести стартерів без навантаження, а також різноманітні перевірки електричних споживачів при 12/24 В.

Технічні характеристики стенду: трифазний двигун потужністю 2 к.с. з ременями "V" і "Poli V", реостат навантаження потужністю 200 Вт (для 12 В), вольтметр з діапазоном 0-40 В, амперметр з центральним "о" на 50-0-50 А, а також амперметр для перевірки стартерів з діапазоном 0-1000 А. Стенд оснащений щитом для ременя з мікровимикачем і індикатором, має трифазне живлення (ЕВ380). Живлення від акумулятора (акумулятор не входить у комплект). Ціна стенду складає 95 000 грн.

Далі йде електричний стенд BANCHEТТО «PROFI» Inverter EVO для перевірки генераторів і стартерів 12/24 В.

Функціональні характеристики включають джерело живлення 380 В, три фази, електродвигун потужністю 5 М.Р. з безступінчатим регулюванням частоти обертання за допомогою інвертора. Стенд дозволяє проводити тестування генераторів на 12/24 В з потужністю до 2000 Вт для легкових автомобілів, мікроавтобусів до 7,5 т і сільськогосподарської техніки.



Рисунок 2.4 – стенд для перевірки генераторів і стартерів 12 і 24 вольт
BANCHETTO «PROFI» Inverter EVO

Він оснащений триступеневим реостатом потужністю 600 Вт (14), що дозволяє проводити тестування генераторів з електронним управлінням. Також можливе тестування електронних регуляторів напруги на 12/24 В та ізоляції при нарузі 220 В для статора, ротора та індукційних полів. Стенд підтримує тестування електроапаратури на 12/24 В та стартерів з механічним гальмом і без нього, з потужністю до 7 М.Р. Для вимірювань використовуються цифрові прилади, зокрема для тестування регулятора.

Удосконалена модель відомого стенду Е-242 призначена для контролю та регулювання електрообладнання, знятого з автомобіля, зокрема генераторів, стартерів, реле-регуляторів, тягових реле стартерів, реле-переривників, комутаційних реле, електроприводів агрегатів, обмоток якорів, напівпровідникових приладів і резисторів. У стенді не передбачено мережеве джерело живлення (СП) для перевірки стартерів, натомість для цієї мети використовуються дві акумуляторні батареї по 190А/год або пуско-зарядний пристрій. Стенд застосовується для діагностики електрообладнання на автотранспортних підприємствах, авторемонтних заводах, в сервісних майстернях та на станціях технічного обслуговування автомобілів, а також у навчальних закладах. Принцип його роботи полягає в імітації робочих

режимів електрообладнання та вимірюванні його вихідних характеристик для перевірки працездатності, оцінки технічного стану і виявлення можливих несправностей.



Рисунок 2.5 – Стенд 250-00

У цьому стенді застосована інноваційна методика перевірки генераторів, яка максимально наближена до реальних експлуатаційних умов, з плавною зміною частоти обертання і струму навантаження.

Перелік параметрів, що перевіряються:

- Генератори: частота обертання ротора в усьому робочому діапазоні; частота обертання приводу генератора; струм навантаження; напруга при цих перевірках; споживаний струм генераторами постійного струму в режимі двигуна; симетрія фаз для генераторів змінного струму.

- Регулятори напруги: напруга включення реле зворотного струму; підтримувана регулятором напруга; струм обмеження; зворотний струм; напруга спрацьовування реле блокування стартера; струм спрацьовування реле захисту; напруга невідповідності для двоелементних регуляторів.

- Стартери: частота обертання якоря на холостому ходу; струм, споживаний стартером на холостому ходу; струм при повному гальмуванні;

момент, що розвивається при повному гальмуванні; момент включення основних контактів з урахуванням зазору між шестірнею та шайбою; стан контактів щодо падіння напруги при певному струмі.

- Комутаційні реле: напруга та струм спрацьовування; напруга та струм відпускання; перевірка ізоляції на пробій.

- Інші елементи електрообладнання: перевірка ізоляції на пробій; вимірювання опору резисторів в діапазоні від 1 Ом до 100 кОм; перевірка якорів генераторів та стартерів.

Стенд для діагностики генераторів та стартерів MD1. На рисунку 2.6 представлений стенд для діагностики генераторів та стартерів MD1.



Рисунок 2.6 – Стенд MD1,0

Стенд MD1 призначений для перевірки працездатності стартерів та генераторів автомобілів з напругою 12 і 24 В без необхідності їх безпосередньої установки на автомобіль, а також для вимірювання електричних параметрів цих пристроїв. Він живиться від мережі змінного струму 380 В і оснащений повністю електронним керуванням двигуном (виробництва MITSUBISHI), що забезпечує плавний пуск і зупинку, а також

регулювання обертів від 0 до 6000 об/хв в обох напрямках. Автоматичний режим встановлює 3000 об/хв.

Максимальний струм навантаження при перевірці генераторів становить до 200 А, що досягається завдяки шести незалежним активним режимам навантаження. Стенд перевіряє не тільки силові, а й інформаційні виходи сучасних генераторів, таких як P-D, Active L, FR-SIG, DFM. Він оснащений зручним натяжним механізмом для поліклінових та потічкових ременів, що забезпечує швидке встановлення агрегату за 20-30 секунд.

Стенд також призначений для перевірки стартерів з напругою 12 В і 24 В потужністю до 9,2 кВт в режимі холостого ходу. Пусковий струм забезпечується двома стандартними автомобільними акумуляторами 12 В. Для зручності вимірювання, стенд має цифрову індикацію таких параметрів, як струм, напруга та кількість оборотів двигуна.

Стенд передбачає можливість підключення USB модуля (у версії PRO Print) для підключення до комп'ютера і принтера, а також спеціальне програмне забезпечення для відображення графіків залежностей напруги від струму і оборотів на будь-якому часовому проміжку, що допомагає виявляти несправності.

Габаритні розміри стенду становлять 920×1530×820 мм, а вага — 150 кг.

2.3 Аналіз основних недоліків і проблем, що виникають у випробувальних стендів

Аналізуючи стенди для випробування автомобільних генераторів, було виявлено ряд недоліків у моделях, що серійно випускаються:

- деякі моделі не мають регульованого електроприводу, що дозволяє змінювати частоту обертання (наприклад, модель Banchetto JUNIOR);
- деякі моделі з регульованим електроприводом не забезпечують підтримку постійної частоти обертання при зміні навантаження, або вимагатимуть від

випробувача вручну коригувати ці параметри (наприклад, моделі Е-250-02, Скіф-1-04А);

- високе енергоспоживання стендів під час перевірки генераторів;
- відсутність джерела постійного живлення в більшості моделей, і лише дуже дорогі моделі мають цю можливість;
- висока вартість стендів, що обмежує їх доступність для більшості підприємств.

Метою цієї роботи є вдосконалення електроприводу стендів, які вже перебувають в експлуатації, але не мають можливості регулювати частоту обертання. Це дозволить значно покращити функціональність цих стендів, знизити енергоспоживання та зробити їх більш економічними і доступними.

Вдосконалення електроприводу стендів, які вже перебувають в експлуатації, але не мають можливості регулювати частоту обертання, надасть низку важливих переваг:

1. Можливість плавно регулювати частоту обертання дозволить точно налаштувати умови випробувань під конкретні вимоги, що забезпечить більшу точність вимірювань та результатів тестів.

2. Регулювання обертів дозволить оптимізувати роботу стенда залежно від навантаження, що сприятиме зменшенню споживаної енергії, особливо під час випробувань при менших навантаженнях.

3. Стенд з регульованим електроприводом дасть змогу швидше налаштувати тестові параметри та проводити випробування, знижуючи час на налаштування і дозволяючи швидше отримати результати.

4. Модернізація дозволить зменшити витрати на обслуговування та енергоспоживання, що позитивно позначиться на економічних показниках підприємства, яке використовує стенди.

3 МОДЕРНІЗАЦІЯ ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДУ

3.1 Опис алгоритму модернізації

Оскільки наш стенд призначений для перевірки автомобільних електричних машин, зокрема стартерів і генераторів, потрібно встановити умови, в яких він буде функціонувати. Для модернізованого стенду вихідними параметрами будуть такі показники:

- безступінчастий діапазон швидкостей обертання приводу: від 1000 до 6500 об/хв;
- діапазон навантаження по струму: від 0 до 120 А;
- джерело живлення для перевірки стартера з параметрами $U_H = 12$ В, $I_H =$ від 0 до 1000 А;
- апаратура для контролю, захисту та індикації;
- джерело живлення з параметрами $U_H = 12$ В, $I_H =$ від 0 до 10 А.

Для досягнення зазначених параметрів пропонується:

- розробити функціональну схему приводу стенда, яка забезпечить необхідні робочі характеристики;
- вибрати відповідний електричний двигун, що відповідає вимогам стенда;
- підібрати перетворювач частоти, що забезпечить регулювання швидкості обертання;
- вибрати тахометр або датчик обертів для точного вимірювання швидкості приводу;
- розробити електричну схему модернізації стенда, що враховує всі необхідні елементи для забезпечення стабільної роботи;
- скласти методику використання стенда для проведення випробувань, яка дозволить коректно здійснювати перевірку і регулювання електричних машин автомобіля.

3.2 Розробка функціональної схеми та підбір необхідного обладнання

На рисунку 3.1 зображена функціональна схема електроприводу модернізованого стенду, який забезпечить плавне та точне регулювання швидкості обертання приводного навантажувального мотора в діапазоні від 1000 до 5000 об/хв. Це дозволить проводити випробування автомобільних генераторів та стартерів в умовах, які максимально наближені до реальних, з можливістю точного контролю за параметрами роботи.

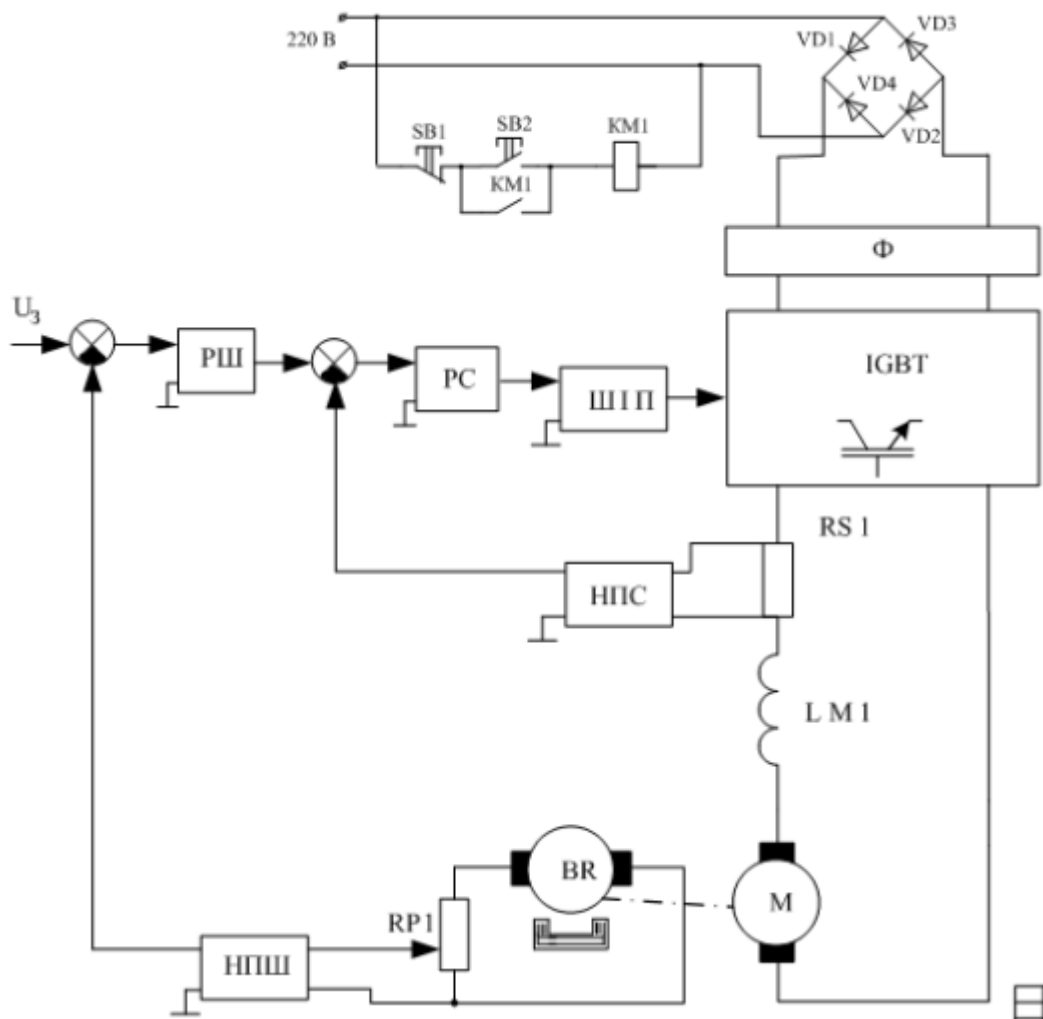


Рисунок 3.1 – функціональна схема запропонованого приводу

Для забезпечення цих характеристик необхідно підібрати двигун, який буде відповідати вимогам щодо потужності, надійності та енергоспоживання. Вибір двигуна має базуватися на його здатності підтримувати стабільні оберти в зазначеному діапазоні та ефективно працювати при різних навантаженнях.

Крім того, для досягнення плавного регулювання швидкості, важливо підібрати відповідний перетворювач частоти, який дозволить здійснювати точну настройку частоти обертання двигуна та адаптувати роботу стенду до різних умов випробувань. Тахометр (давач обертів) є важливим елементом, оскільки він забезпечить постійний моніторинг швидкості обертання мотора та дозволить точно контролювати робочі параметри стенду.

Усе це буде зібрано в єдину систему, яка дозволить максимально ефективно перевіряти електричні машини автомобілів, знижуючи ризик помилок під час тестування та забезпечуючи високий рівень точності. Також важливо врахувати елементи захисту та контролю, щоб запобігти можливим перевантаженням і забезпечити безпечну роботу системи.

Для розрахунку приймаємо номінальну потужність автомобільного генератора $P_{ном} = 1120$ Вт. Тепер визначимо момент, який відповідає цій номінальній потужності. Цей момент одночасно буде виступати як момент опору для автомобільного генератора, який можна обчислити за формулою 3.1.

$$M_{ген} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{1120}{628} = 1,78 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (3.1)$$

де, $P_{ном}$ – потужність генератора номінальна, Вт.

$\omega_{ном}$ – кутова частота обертання генератора рад/с визначемо з рівняння 3.2

$$\omega_{ном} = \frac{\pi \cdot n_{ном}}{30} = \frac{3,14 \cdot 6000}{30} = 628 \text{ с}^{-1} \quad (3.2)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність генератора, Вт.

Розглянемо класичну навантажувальну діаграму для автомобільних генераторів, яка представлена на рисунку 3.2 та детально описана в таблиці 3.1. Ця діаграма відображає залежність між різними робочими параметрами генератора, такими як швидкість обертання, струм та напруга на виході

генератора при різних умовах навантаження. Аналіз цих характеристик дозволяє визначити оптимальні умови для його тестування, а також виявити потенційні проблеми чи несправності у роботі генератора.

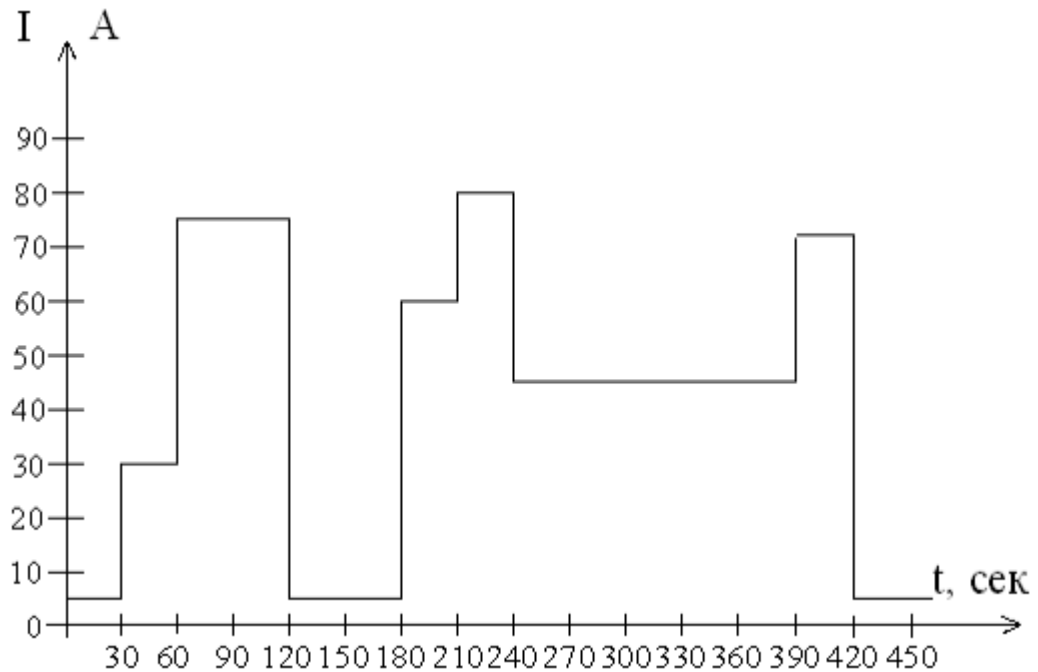


Рисунок 3.2 – навантажувальна діаграма генератора

Таблиця 3.1 – Дані про зміну навантаження на генераторі

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $I_{\text{ген}}, \text{A}$ | 6 | 31 | 73 | 6 | 6 | 61 | 81 | 46 | 46 | 46 | 73 |
| $R_{\text{ш}}, \text{Ом}$ | 2,5 | 0,42 | 0,17 | 2,5 | 2,5 | 0,21 | 0,15 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,17 |
| $U_{\text{ген}}, \text{В}$ | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 13,5 |
| $P_{\text{ш}}, \text{Вт}$ | 66 | 391 | 937 | 66 | 66 | 781 | 1041 | 586 | 586 | 586 | 937 |

Для правильного вибору навантажувального електродвигуна необхідно розрахувати його потужність, використовуючи формулу 3.3. Це дозволить визначити відповідний двигун, який буде здатний ефективно і стабільно працювати при перевірці генераторів та стартерів. Такий розрахунок важливий для забезпечення точних і надійних випробувань електричних машин автомобілів, оскільки правильний вибір двигуна гарантує належну роботу стенду, забезпечуючи необхідні умови для тестування в заданих діапазонах навантаження та швидкості обертання.

$$P_{\text{дв}} = \beta \cdot \omega_{n \text{ max}} \cdot \epsilon_{n \text{ max}} + M_c \cdot \omega_{n \text{ max}} = 3,3 \cdot 680 \cdot 1,78 = 3986 \text{ Вт} \quad (3.3)$$

де $\beta=3,3$, якщо $M_c \geq I_n \cdot \epsilon_{n \text{ max}}$, і ним нехтуємо через його незначну величину

$$\omega_{n \text{ max}} = 679 \text{ рад/с при } n = 6520 \text{ об/хв}$$

Для підбору асинхронного двигуна (АТ) використовуємо дані з довідкової літератури. Зокрема, вибираємо двигун серії АІР100S2 з номінальною частотою обертання $n_{\text{ном}} = 3000$ об/хв, як зазначено нижче. Це дозволяє забезпечити необхідні характеристики для роботи стенду в умовах випробувань автомобільних генераторів та стартерів, оскільки вибраний двигун має оптимальні параметри для реалізації плавного регулювання швидкості обертання, що є важливим для коректного функціонування стенду. [12]. Ці дані, які є, це технічні характеристики асинхронного двигуна при номінальному навантаженні. Ось значення:

- Р, кВт: потужність двигуна, 4.0 кВт.
- ковзання (5%).
- ККД, %: коефіцієнт корисної дії (87%).
- $\cos \varphi$: коефіцієнт потужності (0,88).
- $M_n/M_{\text{ном}}$: відношення моменту на номінальних обертах до номінального моменту (2).
- $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$: відношення максимального моменту до номінального моменту (2,4).
- $M_{\text{min}}/M_{\text{ном}}$: відношення мінімального моменту до номінального моменту (1,6).
- $I_n/I_{\text{ном}}$: відношення номінального струму до номінального струму (7,5).

Таблиця надає інформацію про ефективність, потужність і моменти асинхронного двигуна при різних навантаженнях.

Момент номінальний вираховуємо з формули:

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{4000}{314} = 12,7 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.4)$$

Момент пусковий та мінімальний визначаються за формулами:

$$M_{\max} = 2,2 \cdot M_{\text{ном}} = 2,2 \cdot 12,5 = 27,5 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.5)$$

$$M_{\text{пуск}} = 2,0 \cdot M_{\text{ном}} = 2,0 \cdot 12,5 = 25 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.6)$$

Так як, $M_c = 1,78 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{\text{пуск}} = 25 \text{ Н} \cdot \text{м}$, вибір приводного двигуна для стенду зроблено правильно.

Наступним етапом є перевірка вибраного електричного двигуна на умови нагріву за допомогою методу еквівалентного струму. Для цього необхідно впевнитися, що струм, що проходить через двигун, не перевищує допустимі значення, що можуть призвести до його перегріву. Використання методу еквівалентного струму дозволяє визначити, чи здатний двигун функціонувати без перегріву при заданих навантаженнях, що є важливим для забезпечення його безпечної та довговічної експлуатації. (3.7):

$$I_{\Sigma} \leq I_{\text{ном}} \quad (3.7)$$

Визначимо відхилення струму навантаження ІЗ:

$$I_{\Sigma} = \sqrt{\frac{\sum I_i^2 \cdot t_i}{T_{\text{ц}}}} = \sqrt{\frac{5^2 \cdot 30 + 30^2 \cdot 30 + 72^2 \cdot 30 + 5^2 \cdot 30 + 5^2 \cdot 30 + 60^2 \cdot 30 + 80^2 \cdot 30 + 45^2 \cdot 30 + 45^2 \cdot 30}{420}} = 47,4 \text{ А} \quad (3.8)$$

Припустимо, що номінальний струм генератора становить $I_{\text{ном}} = 80 \text{ А}$. Тепер необхідно перевірити, чи виконується умова нагріву, яка гарантує, що електричний двигун не буде перегріватися при такому струмі. Для цього слід розрахувати еквівалентний струм і порівняти його з допустимими значеннями, визначеними для конкретного типу двигуна. Якщо еквівалентний струм перевищує допустимі параметри, це може призвести до перегріву двигуна, що знизить його ефективність і може спричинити поломку. Тому важливо впевнитися в безпечності роботи двигуна при заданому струмі.

$$I_{\Sigma} \leq I_{\text{ном}}$$

$$47,4 \leq 80 \text{ А},$$

Умова виконана, що підтверджує правильність вибору приводного електричного двигуна. Тепер необхідно визначити розміри приводного шківa для забезпечення оптимальної передачі крутного моменту та ефективної роботи системи. Для цього:

- Діаметр шківa генератора, $d_1 = 50$ мм.
- Швидкість обертання валу генератора, $n_{ген} = 6500$ об/хв.

Ці параметри допоможуть розрахувати розмір приводного шківa, який забезпечить правильне співвідношення між швидкістю обертання двигуна і генератора, що необхідно для ефективної роботи системи в цілому.

3.3 Вибір і розрахунок частотного перетворювача

Для нашого випадку оптимальним виявився метод регулювання частоти обертання поля статора через зміну частоти напруги живлення. Цей метод дозволяє точно контролювати швидкість обертання електричного двигуна, що є ключовим для досягнення необхідних параметрів роботи стенду. Регулювання частоти напруги живлення забезпечує ефективне налаштування обертів без потреби в складних механічних змінних пристроях, що робить систему більш надійною і економічною (рис. 3.3).

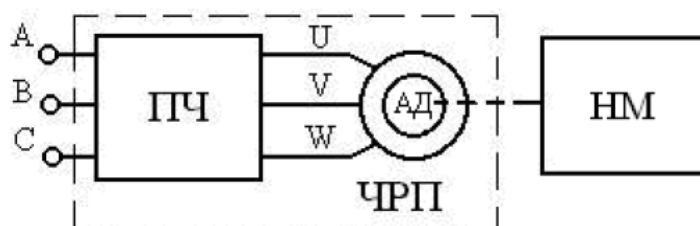


Рисунок 3.3 – Схема приводу з регулюванням частоти.

ПЧ – перетворювач частоти; НМ – навантажувальна машина; ЧРП – частотно регульований привід.

Максимальний момент, який може розвивати двигун, обчислюється за допомогою наступної формули. Цей момент визначається як результат співвідношення між потужністю двигуна та його обертами, з урахуванням ефективності передачі енергії через механізм приводу. (3.9)

$$M_{\text{жонс.}} = k \frac{U^2}{f^2}, \quad (3.9)$$

де, K - коефіцієнт постійності.

Залежність напруги живлення від частоти обумовлена характером навантаження на валі електричного двигуна. Змінна напруга живлення ($U_{\text{вх.}}$) з постійною амплітудою та частотою ($U_{\text{вх.}} = \text{const}$, $f_{\text{вх.}} = \text{const}$) подається на випрямляч, який може бути як керованим, так і некерованим. Цей процес випрямлення дозволяє регулювати параметри живлення двигуна для досягнення потрібної швидкості обертання в залежності від типу навантаження та вимог до роботи системи. (рис. 3.4).

Безпосередній перетворювач частоти БПЧ

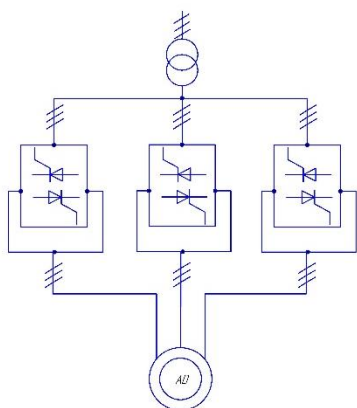
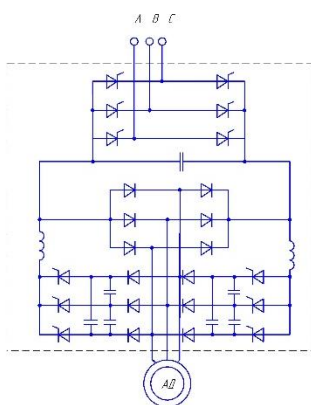
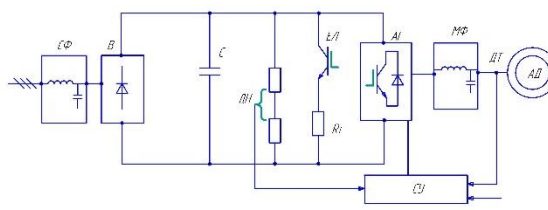


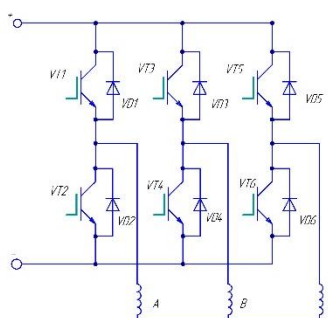
Схема інвертора напруги



Перетворювач частоти з ланкою постійного струму



AI – автономний інвертор (ШИМ)



Пристрій плавного пуску асинхронного двигуна

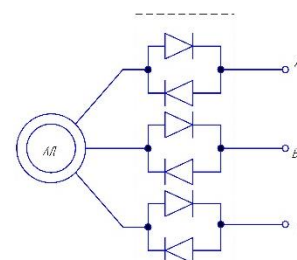


Схема інвертора струму

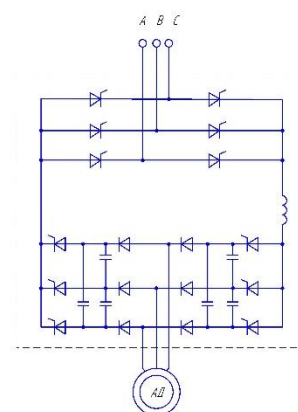


Рисунок 3.4- Типова схеми перетворювача частоти.

Для нашого стенду ми обрали електропривод з перетворювачем частоти CFW-08 plus (рис. 3.5). Цей електропривод у виконанні 1 являє собою електромеханічну систему, що складається з асинхронного двигуна та перетворювача частоти типу «некерований випрямляч - інвертор напруги» з

мікропроцесорною системою управління. Такий вибір обумовлений відповідністю технічним характеристикам нашого стенду, зокрема, вимогам до напруги живлення та можливістю забезпечити необхідні умови для роботи стенду, такі як стабільне регулювання частоти обертання та підтримка заданих параметрів роботи.

$$P_{пч} \geq P_{дв}$$

$$I_{ном\ вых.\ пч} \geq I_{ном\ дв} \quad (3.10)$$

Електропривод з перетворювачем частоти CFW-08 plus (рис. 3.5) у виконанні 1 є комплексною електромеханічною системою, що включає асинхронний двигун та перетворювач частоти, який працює за принципом «некерований випрямляч - інвертор напруги». Цей перетворювач оснащений мікропроцесорною системою управління, яка забезпечує точне та ефективне регулювання параметрів роботи, таких як частота обертання двигуна, що дозволяє адаптувати систему до вимог конкретних умов експлуатації стенду..



Рисунок 3.5 – Вигляд перетворювача частоти CFW- 08 plus

Перетворювач частоти CFW-08 plus має наступні технічні характеристики: габаритні розміри — 196,0×276,0×186,0 мм, номінальна вихідна потужність — 10,6 кВт, типова потужність двигуна — 7,6 кВт, напруга живлення — 380 В ±10/-15%, частота напруги живлення — 47–62 Гц, вихідна напруга — 0–380 В, вихідна частота — 1–400 Гц, частота модуляції — 25/00–16000 Гц. Номінальний вихідний струм становить 16,0 А, максимальний —

22,0 А, струм спрацьовування захисту — 41,0 А, максимальний струм гальмування — 24,0 А, мінімальний опір баластного резистора — 28,0 Ом. Потужність втрат у номінальному режимі — 166,0 Вт, максимальна температура радіатора — 86,0 °С, а робочий діапазон температур середовища складає від -10 до +40 °С. Електропривод забезпечує роботу в режимі стабілізації частоти обертання двигуна або в режимі автоматичного регулювання технологічної змінної у замкнутому контурі з використанням вбудованого ПД-регулятора та сигналу датчика зворотного зв'язку.

3.4 Розробка електричної схеми для модернізації

Електропривод, використаний у цьому стенді, базується на трифазному асинхронному двигуні з короткозамкненим ротором, що забезпечує високий рівень надійності та стабільної роботи при змінних навантаженнях. Перетворювач частоти, який є частиною цього приводу, оснащений некерованим випрямлячем та інвертором напруги. Така конструкція дозволяє ефективно регулювати частоту обертання та напругу на виході, забезпечуючи точне управління швидкістю електричного двигуна.

Важливим аспектом цього електроприводу є використання методів частотного керування та векторної орієнтації, що дозволяють здійснювати більш точне та ефективне керування моментом обертання двигуна при різних умовах навантаження. Векторна орієнтація полягає у використанні математичних моделей, що дозволяють оптимізувати процеси керування, підвищуючи динамічні характеристики та ефективність роботи приводу. Цей підхід дає змогу забезпечити плавність і точність регулювання частоти обертання, а також покращити стабільність роботи в умовах змінних навантажень, знижуючи енергетичні витрати.

Алгоритми роботи системи управління адаптуються до змінних параметрів навантаження, що робить систему дуже гнучкою та надійною в експлуатації. Регулятори, розроблені на основі цих принципів, здатні

оптимізувати роботу електричного приводу за рахунок зміни параметрів, таких як швидкість обертання і момент, в реальному часі. Завдяки цьому, система забезпечує стабільну роботу стенду при різних умовах експлуатації.

Всі ці елементи інтегровані в єдину автоматизовану систему, що дозволяє проводити точні випробування з різними умовами навантаження, зберігаючи при цьому високу ефективність і надійність. Схема електричного підключення та принципова схема системи управління наведені на рисунку 3.6, що дозволяє зрозуміти структуру і принципи роботи цього сучасного електроприводу.

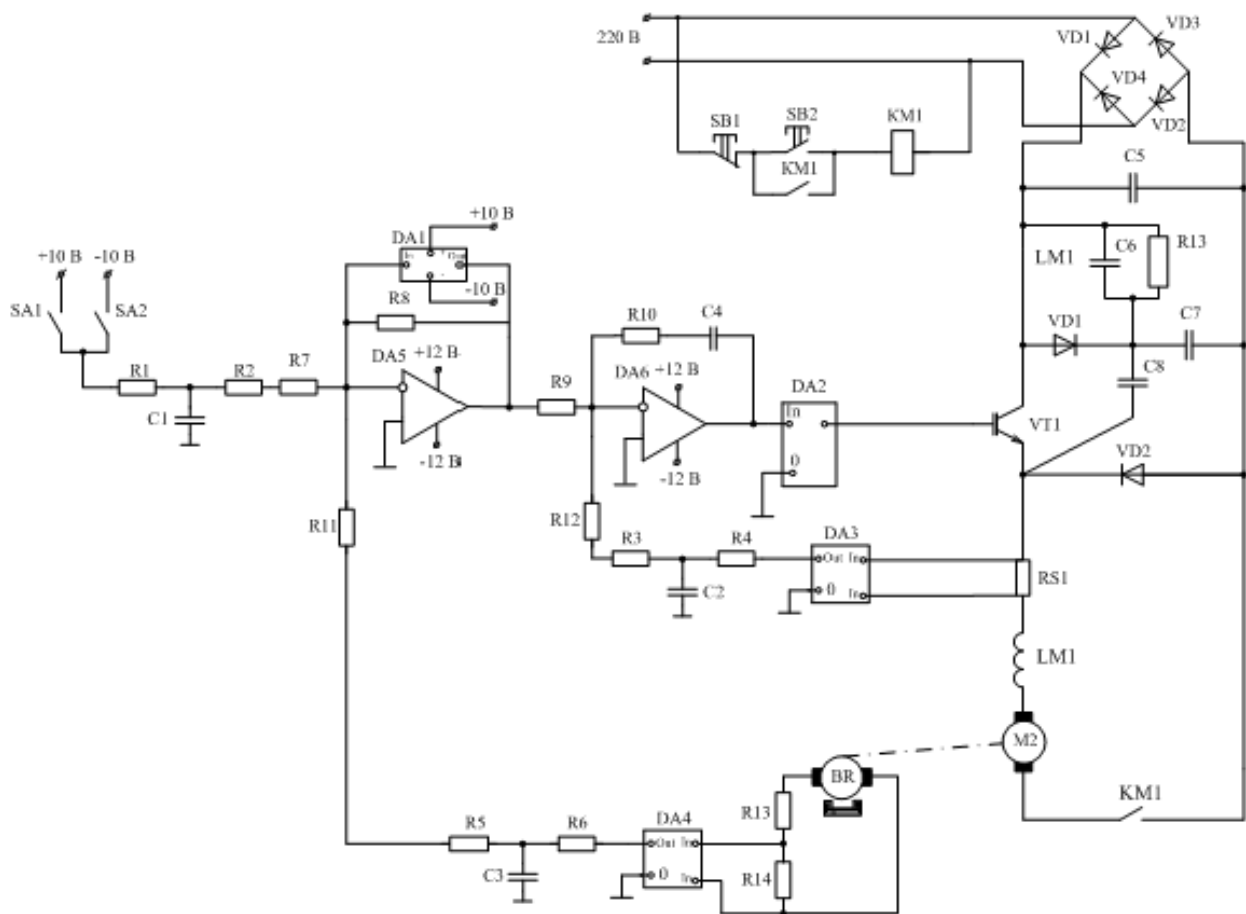


Рисунок 3.6 – Схема електрична принципова модернізованого електроприводу

Використання електроприводу на базі трифазного асинхронного двигуна з перетворювачем частоти, що включає некерований випрямляч та інвертор напруги, а також методів частотного керування і векторної орієнтації, дає низку переваг для випробувального стенду. Система забезпечує плавне регулювання швидкості обертання електричного двигуна в широкому

діапазоні, що дозволяє проводити випробування в різних умовах навантаження і забезпечує стабільність процесів. Застосування перетворювача частоти дозволяє знизити енергоспоживання, оскільки двигун працює в оптимальних параметрах. Алгоритми частотного керування також дозволяють регулювати параметри в реальному часі, адаптуючи систему до змінних умов роботи, що підвищує точність і ефективність перевірок. Це також дозволяє зменшити механічні навантаження на обладнання, збільшуючи термін служби стенду та знижуючи витрати на обслуговування.

3.5 Методика проведення діагностики електрообладнання на модернізованому стенді

Перевірка на стенді дає змогу не тільки визначити працездатність генератора, але й оцінити його відповідність номінальним характеристикам, таким як вихідна напруга та струм при різних навантаженнях. Крім того, перевіряється ефективність роботи всіх складових генератора, зокрема щіток, контактних кілець та колектора. Щітки повинні бути правильно притерті до контактних кільців колектора для забезпечення належного контакту та мінімального зносу, а кільця повинні бути чистими, без слідів окислення чи пошкоджень, що може впливати на роботу генератора. Схема підключення (рис. 3.7) для перевірки генератора на стенді дозволяє точно оцінити його технічний стан за допомогою спеціального обладнання, що вимірює напругу, струм та інші важливі параметри в різних умовах роботи.

Встановіть генератор на стенд і здійсніть підключення згідно з вказівками на малюнку. Увімкніть електродвигун стенда та за допомогою реостата налаштуйте вихідну напругу генератора, поступово доводячи частоту обертання ротора до 5000 об/хв. Дайте генератору працювати в цьому режимі не менше 10 хвилин, після чого заміряйте силу струму віддачі. У справного генератора сила струму має бути не менше 55 А. Якщо виміряна величина струму віддачі буде меншою, це вказує на можливі несправності в обмотках

статора чи ротора або на пошкодження вентилів. У такому разі потрібно ретельно перевірити обмотки та вентиля для локалізації несправності.

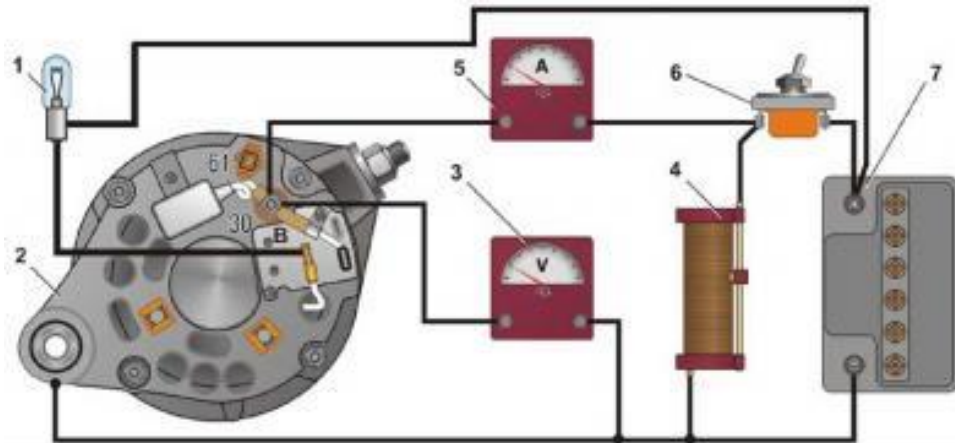


Рисунок 3.7 Схема підключення для тестування генератора на стенді:

- 1 – контрольна лампа; 2 – генератор; 3 – вольтметр; 4 – реостат;
5 – амперметр; 6 – вимикач; 7 – акумуляторна батарея.

Напругу на виході генератора перевіряйте при частоті обертання ротора 5000 об/хв. Використовуйте реостат для встановлення струму віддачі на рівні 15 А та заміряйте вихідну напругу, яка повинна становити $(14,2 \pm 0,5)$ В при температурі навколишнього середовища та генератора $(22 \pm 5)^\circ$ С. Якщо значення напруги не укладається в зазначені межі, слід замінити регулятор напруги на новий, завідомо справний, і повторити перевірку. Якщо після заміни регулятора напруга буде нормальною, то старий регулятор потрібно визнати несправним і замінити. Якщо ж напруга не зміниться і не потрапить в межі, необхідно перевірити обмотки та вентиля генератора.

Перевірка обмотки збудження ротора може бути здійснена без зняття генератора з автомобіля. Для цього достатньо зняти захисний кожух та регулятор напруги разом із щіткотримачем. Якщо потрібно, очистіть контактні кільця шліфувальною шкіркою і за допомогою омметра або контрольної лампи перевірте, чи не має обриву в обмотці збудження і чи не замикається вона на масу.

Перевірка статора здійснюється окремо після демонтажу генератора (рис. 3.8). Спочатку необхідно омметром або за допомогою контрольної лампи та акумуляторної батареї перевірити статорну обмотку на наявність обривів.

Також потрібно переконатися, що витки обмотки не замикаються на масу, що може свідчити про можливі ушкодження ізоляції або дефекти в обмотці статора.



Рисунок 3.8 – Процес розбирання генератора: 1 – регулятор напруги разом з щіткотримачем; 2 – регулятор напруги та щіткотримач; 3 – колодка для додаткових діодів; 4 – ізолюючі втулки; 5 – випрямляючий блок; 6 – контактний болт; 7 – статор; 8 – ротор; 9 – втулка; 10 – внутрішня шайба підшипника; 11 – кришка з боку приводу; 12 – шків; 13 – зовнішня шайба кріплення підшипника; 14 – стяжний болт; 15 – передній кульковий підшипник ротора; 16 – втулка; 17 – кришка з боку контактних кілець; 18 – буферна втулка; 19 – підтискна втулка; 20 – конденсатор.

Перевірка ізоляції проводів обмотки статора є критично важливою для забезпечення безпеки та ефективності роботи генератора. Якщо ізоляція має сліди перегріву або пошкоджена внаслідок короткого замикання, це може призвести до серйозних проблем у роботі генератора, таких як втрати потужності або навіть повна відмова. У разі виявлення дефектів в обмотці статора необхідно замінити статор, оскільки подальша експлуатація з пошкодженою обмоткою може призвести до ще більш серйозних наслідків, таких як перегрів чи вихід з ладу інших компонентів генератора.

Дефектоскоп, що використовується для перевірки короткозамкнутих витків обмотки статора, дозволяє виявити навіть незначні дефекти, які можуть стати причиною подальших несправностей генератора. Це особливо важливо для забезпечення надійної роботи генератора в умовах високих навантажень.

Конденсатор, який використовується для захисту електронних пристроїв, має також важливе значення для стабільної роботи генератора. Пошкодження конденсатора або його погане кріплення можуть призвести до значних електричних перешкод, що знижує ефективність роботи не лише генератора, а й інших електричних систем автомобіля. Тому регулярна перевірка конденсатора є необхідною для забезпечення надійної роботи генератора та для зменшення рівня електромагнітних завад. Якщо під час перевірки конденсатора виявлено, що його місткість відрізняється від нормальних значень, це може свідчити про його деградацію або пошкодження, і в такому разі його слід замінити.

Щодо перевірки діодів випрямляча, то це також важливий етап у діагностиці генератора. Діоди повинні пропускати струм тільки в одному напрямку, і будь-яке відхилення від цієї умови може свідчити про їх несправність. Несправні діоди можуть призвести до неправильного випрямлення струму, що в свою чергу погіршить стабільність роботи генератора і може вплинути на живлення інших систем автомобіля. У разі виявлення несправних діодів, випрямний блок необхідно замінити, щоб уникнути подальших проблем із генерацією електричної енергії.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз травмонебезпечних ситуацій та вимоги безпеки під час експлуатації обладнання

Виробничий травматизм зумовлений організаційними, технічними, психофізіологічними та санітарно-гігієнічними причинами. Аналіз виробничого травматизму дозволяє не лише виявити причини, а визначити закономірності їх виникнення. На основі такої інформації розробляються заходи та засоби щодо профілактики травматизму [18].

Для аналізу виробничого травматизму застосовують багато різноманітних методів, основні з яких можна поділити на такі групи: статистичні, топографічні, монографічні, економічні, анкетування, ергономічні, психофізіологічні, експертних оцінок та інші [17].

Причини виробничого травматизму поділяються на такі основні групи: організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні, економічні, психофізіологічні.

Чинники та обставини, які впливають на хід подій за час від початкової до небажаної події можуть бути такими:

Наявність струму на корпусі світильника:

а) відсутність захисного заземлення:

- не виконувалося заземлення;
- пошкоджено захисне заземлення.

б) пошкодження ізоляції :

- відсутність профілактичних заходів;
- неправильна експлуатація.

Дотик обслуговуючого персоналу оголеними частинами тіла до корпусу світильника:

а) недотримання правил техніки безпеки:

- відсутність захисної огорожі;

- недотримання вимог щодо спецодягу обслуговуючого персоналу;
- невиконання правил техніки безпеки;
- б) невикористання засобів індивідуального захисту:

- халатність працівника;
- недостатній контроль працівників.

Отже, Такі чинники, відсутність засобів індивідуального захисту, невиконання профілактичних заходів щодо огляду робочого місця, нехтування правилами техніки безпеки можуть бути причиною травмування робочого персоналу.

Для нашого випадку можливими заходами та засобами запобігання дії шкідливого чинника є:

- проведення профілактичних заходів;
- завчасне проведення інструктажів з охорони праці.

Після обчислення ймовірностей всіх подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до даної моделі. Потім модель представляємо до математичного виконання ймовірностей випадкових подій, застосовуючи формули [16].

Вимоги безпеки до початку роботи:

- Заземлення є обов'язковим!
- Перевірити надійність заземлення електросвітильника і електрощитів.
- Опір ізоляції відносно землі електрично зв'язаних кіл повинен бути не менше 1,0 МОм.
- Опір ізоляції вимірюється мегомметром 1000-2500В.
- Перевірити візуальну справність органів контролю індикації,.
- Уважно оглянути робоче місце, привести його в порядок. Забрати всі предмети, що заважають роботі. Робочий інструмент, пристосування і допоміжний матеріал, перевірити їхню справність.

Вимоги безпеки під час роботи :

- Управління роботою освітлення у заданому режимі відбувається автоматично.

-При огляді працюючої системи освітлення забороняється виконувати любі роботи в системі автоматики і захисту і вимірювальних приладах.

-Не доторкатися голими руками до неізольованих поверхонь трубопроводів подачі гарячої води.

4.2 Планування заходів з покращення охорони праці

Основні заходи щодо попередження та усунення причин виробничого травматизму бувають на організаційні та технічні.

До технічних заходів належать заходи з виробничої санітарії та техніки безпеки.

Заходи з виробничої санітарії передбачають організаційні, гігієнічні та санітарно-технічні заходи та засоби, що запобігають дії на працюючих шкідливих виробничих чинників. Це створення комфортного мікроклімату шляхом влаштування відповідних систем опалення, вентиляції, теплоізоляція конструкцій будівлі та технологічного устаткування; заміна шкідливих речовин та матеріалів нешкідливими; герметизація шкідливих процесів; зниження рівнів шуму та вібрації; встановлення раціонального освітлення; забезпечення необхідного режиму праці та відпочинку, санітарного та побутового обслуговування [18].

До організаційних заходів належать: правильна організація роботи, навчання, контролю та нагляду з охорони праці; дотримання трудового законодавства, законодавчих та інших нормативно-правових актів з охорони праці; впровадження безпечних методів та наукової організації праці; проведення оглядів, лекційної та наочної агітації та пропаганди з питань охорони праці; організація планово-попереджувального ремонту устаткування, технічних оглядів та випробувань транспортних та вантажопідіймальних засобів, посудин, що працюють під тиском [16].

4.3 Моделювання процесів формування і виникнення небезпечних ситуацій під час експлуатації обладнання

Після обчислення ймовірностей всіх подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до даної моделі.

Кожна випадкова подія, до якої входять базові події, може формуватися й виникати при входженні у неї двох, трьох і більше базових подій за допомогою відповідних операторів.

Таблиця 4.1 – Ймовірності подій виникнення небезпеки

| Шифр | Назва події | Ймовірність |
|-----------------|---|-------------|
| P ₁ | Відсутність захисного заземлення | 0,04 |
| P ₂ | Пошкодження захисного заземлення | 0,03 |
| P ₃ | Пошкодження ізоляції | 0,1 |
| P ₄ | Неправильна експлуатація обладнання | 0,02 |
| P ₅ | Відсутність профілактичних заходів | 0,1 |
| P ₆ | Відсутність захисного щита | 0,2 |
| P ₇ | Незнання правил техніки безпеки | 0,09 |
| P ₈ | Недотримання правил техніки безпеки | 0,1 |
| P ₉ | Відсутність засобів індивідуального захисту | 0,3 |
| P ₁₀ | Халатність | 0,06 |

Складемо логіко імітаційна модель процесу виникнення травм при роботі з електроопаленням (рис.4.1).

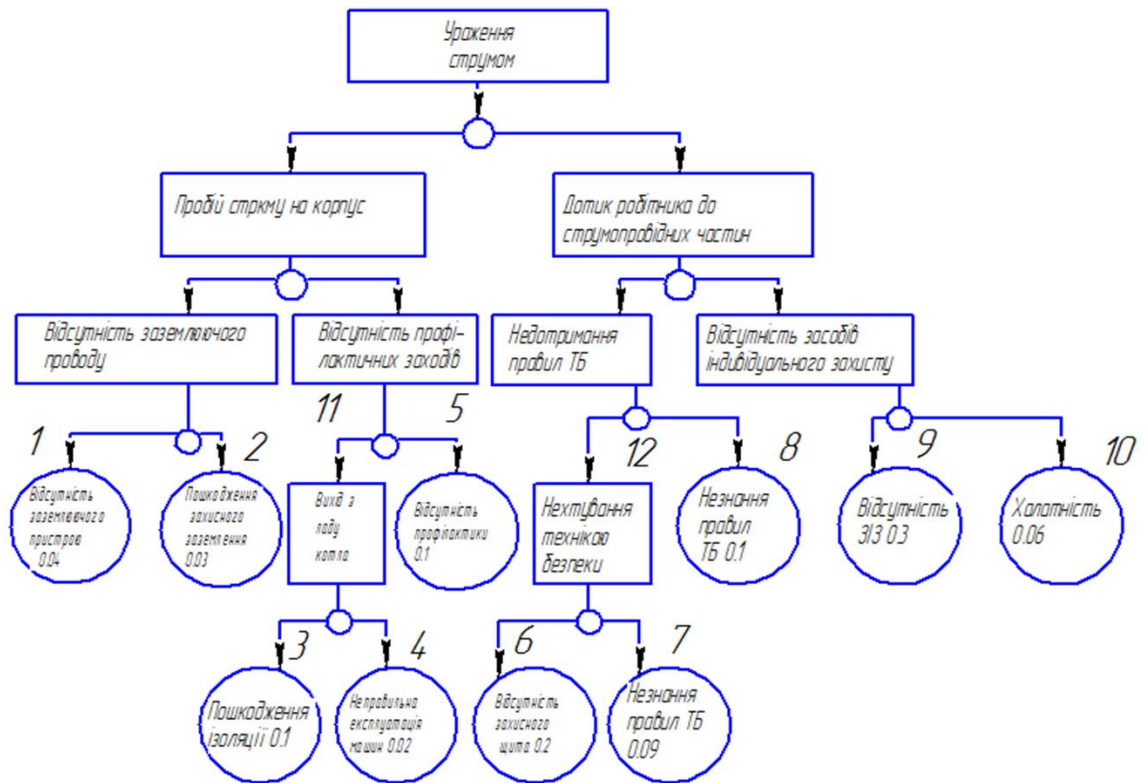


Рисунок 4.1 – Логіко імітаційна модель процесу виникнення травм при роботі з електрообладнанням.

Нехай дві базові події з ймовірністю "I" входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події P_3 можна визначити так:

$$P_3 = P_1 + P_2 \quad (4.1)$$

Оператор "I" об'єднує n події з ймовірностями P_1, P_2, \dots, P_n . Тоді ймовірності вихідної події P буде:

$$P_3 = P_1 \times P_2 \times \dots \times P_n \quad (4.2)$$

Дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора "Або", входять до третьої події. Тоді ймовірність P_3 буде.

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \times P_2 \quad (4.3)$$

Оператор "Або" об'єднує 3 базові події з ймовірностями P_1, P_2, P_3 , які за допомогою цього оператора входять у наступну подію з ймовірністю P_4 . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою:

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 P_2 - P_1 P_3 - P_2 P_3 + P_1 P_2 P_3 \quad (4.4)$$

За допомогою даних залежностей ми проводимо розрахунок ймовірності виникнення травми про роботі з електроосвітленням. Ймовірність виникнення

вихідних подій задаємо умовно. Підставивши дані ймовірностей базових подій у формулу (4.4), Отримаємо ймовірність події 13:

$$P_{13} = 0,03 + 0,01 - 0,03 \cdot 0,01 = 0,0397.$$

Аналогічно визначаємо ймовірність інших подій:

$$P_{11} = P_4 + P_5 - P_4 \times P_5; \quad (4.5)$$

$$P_{11} = 0,02 + 0,1 \cdot 0,02 \cdot 0,1 = 0,118.$$

$$P_{12} = P_6 + P_7 - P_6 \times P_7; \quad (4.6)$$

$$P_{12} = 0,2 + 0,09 \cdot 0,2 \cdot 0,09 = 0,20.$$

$$P_{16} = P_9 + P_{10} - P_9 \times P_{10}; \quad (4.7)$$

$$P_{13} = 0,04 + 0,06 \cdot 0,04 \cdot 0,05 = 0,0401.$$

$$P_{14} = P_{11} \times P_5; \quad (4.8)$$

$$P_{14} = 0,118 \times 0,1 = 0,0118.$$

$$P_{15} = P_{12} \times P_8; \quad (4.9)$$

$$P_{15} = 0,20 \times 0,1 = 0,022.$$

$$P_{16} = P_{13} + P_{14} - P_{13} \times P_{14}; \quad (4.10)$$

$$P_{16} = 0,0401 + 0,0118 - 0,0401 \cdot 0,0118 = 0,0142.$$

$$P_{17} = P_{14} \times P_{15}; \quad (4.11)$$

$$P_{17} = 0,0118 \times 0,022 = 0,00250.$$

$$P_{18} = P_{16} + P_{17} - P_{16} \times P_{17}; \quad (4.12)$$

$$P_{18} = 0,0142 + 0,00250 - 0,0142 \times 0,0190 = 0,144.$$

Таким чином на під час роботи електричної освітлювальної системи на при наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 14,4 травм. Якщо підвищити професійний рівень, поліпшити контроль та виготовити профілактичні засоби за всіма вимогами безпеки, то можна побачити на моделі шляхом повторного

розрахунку, що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки - до 1.

4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Захист цивільного населення у разі загрози виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань держави.

Актуальність проблеми забезпечення природо-техногенної безпеки населення і території зумовлена тенденціями зростання втрат людей та шкоди територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами.

Забезпечення безпеки та захисту населення, об'єктів економіки і національного надбання держави від масштабних наслідків надзвичайних ситуацій повинно розглядатись як невід'ємна частина державної політики, національної безпеки та державного будівництва, як одна з найважливіших функцій центральних органів виконавчої влади.

При загрозі радіоактивного забруднення місцевості керівник ЦЗ об'єкта відповідно до плану ЦЗ дає розпорядження привести в готовність формування для захисту тварин. Для догляду за тваринами в приміщеннях залишають мінімальну кількість працівників 3-5 осіб, але не менше 3 на приміщення. За наявності дійних корів залишають 5-7 осіб на 150-200 тварин [16].

5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА МОДЕРНІЗАЦІЇ

Економічну оцінку модернізації стенду для перевірки електричного обладнання автомобіля можна здійснити шляхом порівняння вартості обраного стенду до модернізації та витрат на саму модернізацію з вартістю більш дорогого, багатофункціонального стенду, який вже містить перетворювач частоти та привідний двигун, що регулюється ним.

Для більш детального аналізу порівняємо наш вибір — стенд 380 В SPIN Banchetto JUNIOR з сучасним стендом, який оснащений регульованим електроприводом генератора BANCHETTO «PROFI» Inverter EVO. Вартість нашого модернізованого стенду, а також витрати на його модернізацію, будуть занесені до таблиці 5.1 для наочності та детального аналізу вартості. Цей підхід дозволить оцінити ефективність модернізації не тільки з технічної, але й з економічної точки зору, виявивши можливі переваги в економії ресурсів та зниженні витрат на подальшу експлуатацію стенду.

Таблиця 5.1 – Витрати на модернізацію

| Назва обладнання | Вартість (грн) |
|---|----------------|
| Стенд 380 В SPEN Banchetto JUNIOR | 95 000 |
| Перетворювач частоти CFW-08 plus | 17 000 |
| Двигун AIP100S2 | 8 500 |
| Кріплення для двигуна | 2 500 |
| Монтажні роботи | 3 500 |
| Загальна вартість модернізації | 31 500 |
| Загальна вартість стенду після модернізації | 126 500 |
| BANCHETTO «PROFI» Inverter EVO2 | 199 000 |

Електричний стенд для перевірки генераторів і стартерів 12 і 24 вольт BANCETTO «PROFI» Inverter EVO2 (SPIEN) має вартість 199 000 грн. Його характеристики включають:

- Джерело живлення, мережа 380 В, 3 фази;

- Електродвигун потужністю 5,0 кВт. з інверторним регулюванням частоти обертання;
- Тестування генераторів 12 і 24 В з потужністю 2200 Вт;
- Триступеневий реостат на 620 Вт;
- Діагностика генераторів з електронним управлінням;
- Діагностика електронних регуляторів напруги 12,0 і 24,0 В;
- Діагностика ізоляції за напругою 230 В;
- Діагностика електроапаратури 12 і 24 В;
- Діагностика стартерів з механічним гальмом і без нього;
- Електронні вимірювальні прилади для тестування регуляторів.

Економія на модернізації становить $199\ 000 - 126\ 500 = 73\ 000$ грн. Вартість однієї діагностики становить близько 300 грн. За одну зміну (8 годин) можна перевірити до 16 генераторів, що дозволить збільшити ефективність і провести на 20% більше діагностики. Це дасть можливість заробити 1200 грн за зміну. Після вирахування витрат на електроенергію, зарплату та інші витрати, чистий прибуток складе не менше 150 грн за зміну. За рік, при 240 робочих змінах, загальний прибуток складе 36 000 грн.

Вартість модернізації стенду складає 31 500 грн. Таким чином, термін окупності модернізації стенду T_m становить:

$$T_m = Mc / Pr = 31500 / 36000 = 0,86 \text{ року} \quad (5.1)$$

Таким чином, термін окупності модернізації нашого стенду складає менше року, що підтверджує високу ефективність цієї інвестиції. Завдяки модернізації ми значно підвищуємо продуктивність стенду, знижуємо витрати та збільшуємо прибуток, що робить цю модернізацію економічно доцільною та вигідною в короткостроковій перспективі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В результаті виконаної роботи на тему «Покращення ефективності ремонту електрообладнання автомобіля з модернізацією стенду» були досягнуті такі висновки та результати.

Було проведено детальний аналіз ефективності роботи стендів для випробовування генераторів і стартерів. Розглянуті основні несправності цих компонентів та їх діагностування. На основі цього була виконана модернізація стенду для випробовування генераторів і стартерів, що дозволило підвищити ефективність діагностики та ремонту.

Досягнуті результати включають:

- Аналіз системи електричного обладнання автомобіля, зокрема генератора, стартера та акумуляторної батареї.
- Визначення основних несправностей генераторів і стартерів.
- Оцінка існуючих стендів для випробовування електрообладнання, що використовуються на ринку.
- Виявлення недоліків у поточних моделях стендів і розробка можливих шляхів їх вдосконалення.
- Проведення модернізації обраного випробовувального стенду.
- Техніко-економічна оцінка доцільності модернізації стенду.

Отримані результати включають наступне:

- Автомобільний генератор забезпечує живлення електрообладнання під час роботи двигуна автомобіля та поповнює енергію акумуляторної батареї після запуску двигуна.
- Стартер разом із акумуляторною батареєю відповідає за запуск двигуна внутрішнього згоряння, переводячи його з стану спокою до самостійної роботи.
- Якісна робота генератора та всієї системи електропостачання автомобіля безпосередньо впливає на роботу та термін служби інших електроприладів. Наприклад, коливання напруги на рівні $\pm 5\%$ від номінального значення (14,2

В) призводить до зміни світлового потоку на $\pm 20\%$, що вдвічі скорочує термін служби ламп.

- Підвищене споживання енергії стартером під час запуску може значно скоротити термін служби акумулятора у разі несправності стартера.

- Діагностика технічного стану генераторів і стартерів є важливим завданням для забезпечення належної роботи автомобіля, оскільки не всі несправності виявляються відразу, і в деяких випадках вони можуть бути прихованими (так звані «плаваючі» дефекти).

- Аналіз серійно вироблених стендів виявив кілька недоліків, таких як відсутність регульованого електроприводу, низька енергоефективність, відсутність джерела постійного живлення та висока вартість. Ці недоліки можна усунути шляхом модернізації.

- Розроблена схема електроприводу модернізованого стенду дозволяє плавно регулювати швидкість обертання привідного навантажувального мотора в діапазоні від 1000 до 500 об/хв.

- Розраховано і вибрано відповідний двигун та перетворювач частоти, розроблено функціональні та електричні схеми.

- Запропоновані заходи з охорони праці для безпечної експлуатації стенду.

- Термін окупності модернізації стенду складає менше року, що підтверджує ефективність і доцільність такого рішення.

Таким чином, модернізація стенду забезпечує покращення ефективності роботи, зниження витрат і підвищення прибутковості, що робить цей процес економічно вигідним та доцільним у короткостроковій перспективі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Соловей О. І. Промислові електротехнологічні установки: Навч. посіб. Київ.: Кондор, 2009р. 172 с.
2. Габриш О. Підвищення ефективності ремонту електрообладнання автомобіля шляхом модернізації випробувального стенду. Тези доповідей міжнародного студентського наукового форуму «Студентська молодь і науковий прогрес в АПК» (2 – 4 жовтня 2024р). м. Львів, 2020. С. 338
3. Кисликов В.Ф., Луцик В.В. Будова і експлуатація автомобілів. Київ: “Либідь”, 2006. 400 с.
4. Білоконь Я.Ю. Трактори та автомобілі / Я.Ю.Білоконь, А.І.Окоча, С.О.Войцехівський. Київ Вища освіта, 2013. 560 с.
5. Сажко В. А. С14 Електрообладнання автомобілів і тракторів: Підручник. Київ. Каравела, 2008. 400 с. ISBN 966-96331-1-7
6. Electude - Автомобільні основи https://lnau.electude.su/bundle_17945301 (дата звернення 31.10.2024 р.)
7. Підручник з будови автомобіля. <https://greenway.com.ua/uk/dovidniki/pidruchnyk-po-vlashtuvannju-avtomobilj> (дата звернення 31.10.2024 р.)
8. Auto 24 https://auto.24tv.ua/budova_avtomobilia_chotyry_skladovi_n31927 (дата звернення 31.10.2022 р.).
9. Для автоелектриків <https://sites.google.com/site/dlaavtoelektrikiv/> (дата звернення 31.10.2022 р.).
10. ДСТУ 12.1.003-03 ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки. - Київ.: Видавництво стандартів, 2008.
11. Антощенко В.М. Трактори та автомобілі. Ч.4. Робоче, додаткове і допоміжне обладнання Харків, 2016. 164 с.
12. Водяник І.І. Експлуатаційні властивості тракторів і автомобілів Київ: Урожай, 1994. 224 с.

- 13.Бойко М.Ф. Трактори та автомобілі. Ч.2. Електрообладнання Київ: Вища школа, 2011. 180с.
- 14.Головчук А.Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки. Книга 1. Трактори Київ: Грамота, 2013. 336 с.
- 15.Лебедєв А.Т. Трактори та автомобілі. Ч.3. Шасі Київ: Вища школа, 2014. 336с.
- 16.Надикто В.Т. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві Мелітополь, 2015. 337 с.
- 17.Лехман С.Д., Целинський В.П., Козирєв С.М. Довідник з охорони праці в сільському господарстві: Запитання і відповіді. Київ: Урожай, 1999. 400с.
- 18.Лехман С. Д., Рубльов В. І., Рябцев Б. І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ:. Урожай, 1993. 267с.
- 19.Злобін Ю. А. Основи екології. Київ: Лібра, 1998. 246с.
- 20.Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручники і посібники, 2001.206с.
- 21.Мельник Л.Г. Економіка енергетики: навч. посіб. Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. 238с.