

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет робототехніки та штучного інтелекту

(повне найменування факультету)

Кафедра електроніки фізики та СМАРТ-систем

(повне найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»
СТЕНД ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ СТАРТЕРІВ ТА ГЕНЕРАТОРІВ
TEST BENCH FOR STARTER AND ALTERNATOR
DIAGNOSTICS**

спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Автомобільна електроніка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти

групи ЕЛ(АЕ)-41

СКРЯБІН Ігор Сергійович

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент

ТКАЧУК Анатолій Анатолійович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«__» червня 2026 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

ПРИСТУПА Станіслав Олексійович

(підпис)

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра електроніки та телекомунікацій

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 17 Електроніка та телекомунікації

Спеціальність: 171 Електроніка

Освітня програма: «Автомобільна електроніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ доц. В. ЗАБЛОЦЬКИЙ

« 31 » грудня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Скрябіну Ігорю Сергійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: *Стенд для діагностики стартерів та генераторів*

керівник роботи: *к.т.н., доцент Ткачук А. А.*

затверджені наказом закладу вищої освіти від «31» грудня 2025 р. № 560/01-02

2. Строк подання здобувачем роботи: 04.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи *Перевірка генераторів і стартерів з номінальною напругою 12 В та 24 В; вимірювання вихідної напруги генератора в діапазоні 0...50 В; вимірювання струму*

генератора до 250 А; вимірювання частоти обертання ротора генератора та вала стартера в діапазоні 0 – 6000 об/хв; контроль температури корпусу агрегатів у діапазоні від –40 °С до +125 °С;

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

ВСТУП

РОЗДІЛ 1 Аналіз конструкцій автомобільних генераторів і стартерів та засобів їх діагностики

РОЗДІЛ 2 Апаратна реалізація автомобільного діагностичного комплексу

РОЗДІЛ 3 Топологічне проектування друкованої плати

РОЗДІЛ 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

ВИСНОВКИ

5. Перелік графічного матеріалу

Демонстраційний матеріал у вигляді презентації Power Point.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>Ткачук А. А., доцент</i>		
<i>Розділ 2</i>	<i>Ткачук А. А., доцент</i>		
<i>Розділ 3</i>	<i>Ткачук А. А., доцент</i>		
<i>Розділ 4</i>	<i>Заблоцький В. Ю., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Селепина Й. Р., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Пристапа С. О., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>	_____ %		
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Ткачук А. А., доцент</i>		

7. Дата видачі завдання 31.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми</i>	До 14.02.2026 р.	
2.	<i>Розділ 1 Аналіз конструкцій автомобільних генераторів і стартерів та засобів їх діагностики</i>	До 14.03.2026 р.	
3.	<i>Розділ 2 Проектування системи випробувань автомобільних генераторів та стартерів</i>	До 14.04.2026 р.	
4.	<i>Розділ 3 Методика проведення діагностики автомобільних стартерів і генераторів</i>	До 30.04.2026 р	
5.	<i>Розділ 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях</i>	До 20.05.2026 р	
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу</i>	До 30.05.2026 р.	
7.	<i>Нормоконтроль</i>	До 02.06.2026 р.	
8.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	До 03.06.2026 р.	
9.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	До 04.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____ Скрыбін І. С.

Керівник роботи _____ Ткачук А. А.

АНОТАЦІЯ

Скрябін І. С Стенд для діагностики стартерів та генераторів. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Автомобільна електроніка». Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026 р.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання розроблення стенда для діагностики автомобільних генераторів та стартерів. Проведено аналіз їх конструкції, принципів роботи та сучасних засобів діагностування. Виконано огляд існуючих випробувальних стендів і визначено їх основні функціональні можливості.

Розроблено структуру автоматизованої випробувальної системи на базі плати збору даних NI PCI-6221. Запропоновано структурну схему стенда, визначено склад його основних вузлів та алгоритм функціонування. Розроблено методику діагностики генераторів і стартерів із контролем їх електричних та механічних параметрів.

Запропоноване рішення забезпечує автоматизацію процесу випробувань, підвищення точності вимірювань та збереження результатів для подальшого аналізу. Розроблений стенд може використовуватися на підприємствах технічного обслуговування автомобілів, у ремонтних майстернях та навчальних лабораторіях.

Ключові слова: автомобільний генератор, стартер, діагностика, випробувальний стенд, система збору даних.

ABSTRACT

Skryabin I. Diagnostic Test Bench for Starters and Alternators. Manuscript. Bachelor's Qualification Thesis in the Educational Program «Automotive Electronics». Lutsk National Technical University, Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of references.

The thesis addresses the development of a test bench for diagnosing automotive alternators and starters. An analysis of their design features, operating principles, and modern diagnostic methods has been carried out. Existing test benches were reviewed, and their main functional capabilities were examined.

The structure of an automated testing system based on the NI PCI-6221 data acquisition board has been developed. A structural diagram of the test bench is proposed, the composition of its main units is determined, and the operating algorithm is described. A methodology for diagnosing alternators and starters with monitoring of their electrical and mechanical parameters has been developed.

The proposed solution provides automation of the testing process, improved measurement accuracy, and storage of test results for further analysis. The developed test bench can be used at automotive service centers, repair workshops, and educational laboratories.

Keywords: Automotive alternator, Starter, Diagnostics, Test bench, Data acquisition system.

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ АВТОМОБІЛЬНИХ ГЕНЕРАТОРІВ І СТАРТЕРІВ ТА ЗАСОБІВ ЇХ ДІАГНОСТИКИ	9
1.1 Конструктивні особливості генератора	9
1.2 Конструкції автомобільних стартерів.....	15
1.3 Види обладнання з діагностики стартерів та генераторів їх функціональні можливості.....	23
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ВИПРОБУВАНЬ АВТОМОБІЛЬНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ТА СТАРТЕРІВ.....	29
2.1 Проєктування випробувальної системи	29
2.2 Структура апаратного забезпечення випробувальної системи...	31
2.3 Алгоритм роботи випробувальної системи	33
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДІАГНОСТИКИ АВТОМОБІЛЬНИХ СТАРТЕРІВ І ГЕНЕРАТОРІВ.....	43
3.1 Основні технічними характеристиками генераторів та стартерів.....	43
3.2 Перевірка генератора на стенді	46
3.3 Діагностика стартера легкового автомобіля.....	54
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	57
4.1 Особливості заходів безпеки під час роботи зі стендом для діагностики стартерів і генераторів	57
4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при роботі зі стендом для діагностики стартерів і генераторів.....	50

4.3 Заходи забезпечення сприятливих (безпечних) умов праці.....	60
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64

ВСТУП

Сучасний автомобіль є складною електромеханічною системою, робота якої значною мірою залежить від справності електрообладнання. Одними з найважливіших його елементів є генератор і стартер. Генератор забезпечує живлення всіх електричних споживачів транспортного засобу та заряджання акумуляторної батареї під час роботи двигуна, тоді як стартер здійснює запуск двигуна внутрішнього згоряння шляхом перетворення електричної енергії акумулятора в механічну енергію обертання колінчастого вала.

Ефективна діагностика електрообладнання дозволяє не лише виявляти наявні несправності, але й оцінювати технічний стан агрегатів, прогнозувати їх ресурс та запобігати виникненню відмов під час експлуатації. Для цього широко застосовуються спеціалізовані випробувальні стенди, які забезпечують контроль основних електричних та механічних параметрів генераторів і стартерів у різних режимах роботи. Використання сучасних засобів автоматизації, комп'ютерної обробки даних та цифрових вимірювальних систем дозволяє значно підвищити точність і швидкість проведення діагностичних процедур.

Актуальність роботи обумовлена зростанням ролі електричних та електронних систем у сучасних автомобілях, що висуває підвищені вимоги до надійності генераторів і стартерів. Від справності цих агрегатів безпосередньо залежить працездатність транспортного засобу, стабільність роботи його електронних систем та безпека експлуатації.

Розроблення стенда для діагностики автомобільних генераторів та стартерів із використанням сучасних засобів збору та обробки даних дозволяє підвищити достовірність результатів випробувань, скоротити час проведення діагностичних робіт і знизити витрати на технічне обслуговування та ремонт автомобілів. Це робить тему кваліфікаційної роботи актуальною як з науково-технічної, так і з практичної точки зору.

Метою роботи є розроблення стенда для діагностики автомобільних генераторів та стартерів, який забезпечує автоматизований контроль їх електричних і механічних параметрів, підвищення точності вимірювань та

ефективності проведення діагностичних випробувань.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз конструкції, принципів роботи та основних технічних характеристик автомобільних генераторів і стартерів.
2. Дослідити існуючі методи та засоби діагностування генераторів і стартерів, а також сучасні випробувальні стенди.
3. Розробити структурну схему стенда для діагностики автомобільних генераторів та стартерів.
4. Обґрунтувати вибір елементної бази системи, зокрема засобів вимірювання та плати збору даних.
5. Розробити алгоритм функціонування стенда та методику проведення діагностики генераторів і стартерів.
6. Визначити основні режими випробувань та параметри, що підлягають контролю під час перевірки агрегатів.
7. Розглянути питання охорони праці та безпеки під час експлуатації розробленого стенда.

Об'єкт дослідження – процес діагностування автомобільних генераторів та стартерів.

Предмет дослідження – методи, засоби та технічні рішення для побудови автоматизованого стенда діагностики автомобільних генераторів і стартерів.

Під час виконання кваліфікаційної роботи бакалавра засоби штучного інтелекту застосовувалися лише як допоміжний інструмент для вдосконалення стилю викладу матеріалу, редагування тексту, пошуку інформаційних ідей, уточнення окремих формулювань та аналізу наукових джерел. Усі наукові положення, результати досліджень, технічні рішення та висновки були сформовані автором самостійно на основі проведеного аналізу й опрацювання матеріалів. Інформація, отримана за допомогою генеративних систем штучного інтелекту, була додатково перевірена на достовірність, коректність та відповідність вимогам академічної доброчесності.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ АВТОМОБІЛЬНИХ ГЕНЕРАТОРІВ І СТАРТЕРІВ ТА ЗАСОБІВ ЇХ ДІАГНОСТИКИ

1.1 Конструктивні особливості генератора

Генератор є електромеханічним пристроєм, призначеним для перетворення механічної енергії обертання колінчастого вала двигуна в електричну енергію. Вироблена електроенергія використовується для живлення споживачів бортової мережі автомобіля та заряджання акумуляторної батареї.

Автомобільний генератор (рис. 1.1) повинен забезпечувати надійне та безперебійне електропостачання всіх споживачів електроенергії. Його потужність має бути достатньою для одночасного живлення електричних систем автомобіля та заряджання акумуляторної батареї. При роботі двигуна на малих обертах навіть за ввімкнення більшості штатних споживачів розряд акумуляторної батареї не повинен перевищувати допустимих значень. Крім того, генератор має підтримувати напругу бортової мережі в установлених межах незалежно від частоти обертання ротора та величини електричного навантаження.

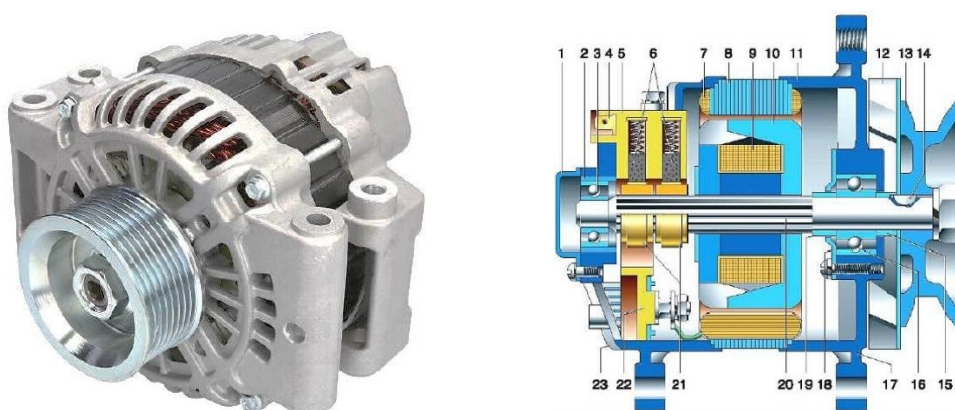


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд та внутрішня будова автомобільного генератора [1]

До автомобільних генераторів висуваються високі вимоги щодо надійності та ефективності роботи. Вони повинні мати просту конструкцію,

значний ресурс роботи, високу надійність, невеликі масогабаритні показники та прийнятну вартість виготовлення. Важливою характеристикою є також висока питома потужність, тобто відношення вихідної потужності до маси генератора. Крім того, генератор повинен забезпечувати заряджання акумуляторної батареї навіть при малій частоті обертання колінчастого вала двигуна в режимі холостого ходу.

Найбільш повно зазначеним вимогам відповідають генератори змінного струму з напівпровідниковими випрямлячами, які завдяки високій надійності, компактності та ефективності набули широкого поширення в сучасних автомобілях.

У сучасному автомобілебудуванні застосовуються різні типи генераторів змінного струму: генератори з контактними кільцями та щітками, безконтактні генератори, індукторні генератори, стартер-генератори та інші конструктивні різновиди. Найбільшого поширення набули вентильні генератори змінного струму, оснащені напівпровідниковим випрямлячем та інтегральним регулятором напруги, які забезпечують стабільні параметри електроживлення та високу надійність роботи (рис. 1.2). На рисунку 1.2 подані наступні позначення: 1 – гайка шківів; 2 – шайба; 3 – шків; 4 – крильчатка; 5 – передня кришка; 6, 8 – дистанційні втулки; 7 – передній підшипник; 9 – шайба; 10 – шпонка; 11 – вал ротора; 12 – ротор; 13 – контактні кільця; 14 – обмотка статора; 15 – статор; 16 – ізоляційна втулка діода випрямного блоку; 17 – пластина випрямного блоку; 18 – щітковий вузол; 19 – щітки; 20 – корпус регулятора напруги і щіткового вузла; 21 – задній підшипник; 22 – кришка заднього підшипника.

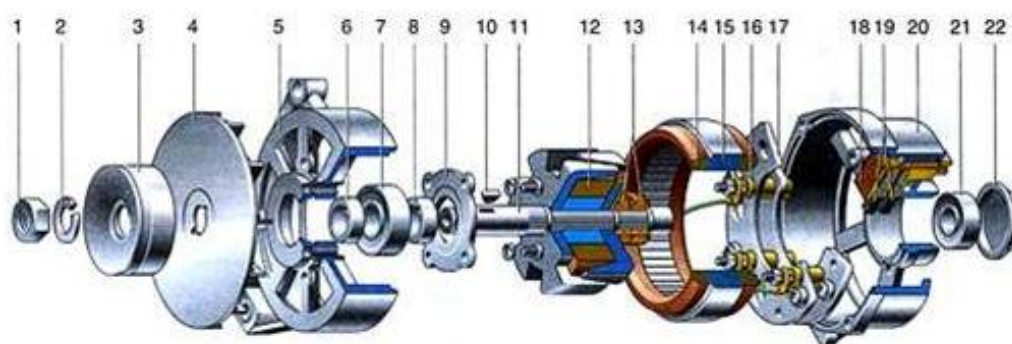


Рисунок 1.2 – Будова генераторної установки [2]

Принцип роботи автомобільного генератора ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. Під час роботи двигуна крутний момент через ремінну передачу передається на шків генератора, що приводить в обертання його ротор. Магнітне поле ротора, перетинаючи витки обмоток статора, індукує в них змінну електрорушійну силу, внаслідок чого в обмотках виникає змінний електричний струм.

Переважає більшість автомобільних генераторів як вітчизняного, так і закордонного виробництва мають магнітну систему ротора з дванадцятьма полюсами – шістьма північними та шістьма південними. Така конструкція забезпечує отримання змінної напруги необхідної частоти та сприяє підвищенню ефективності роботи генератора.

За наявності дванадцяти полюсів частота змінної напруги, що генерується, визначається частотою обертання ротора та кількістю пар полюсів. Для генераторів з шістьма парами полюсів частота електричної напруги приблизно в десять разів менша за частоту обертання ротора, виражену в обертах за секунду.

Оскільки ротор генератора приводиться в обертання від колінчастого вала двигуна через ремінну передачу, частота змінної напруги генератора безпосередньо пов'язана з частотою обертання двигуна. Завдяки цьому сигнал змінної напруги може використовуватися для визначення частоти обертання колінчастого вала. З цією метою в конструкції генератора передбачають спеціальний вивід від однієї з фазних обмоток статора, до якого підключається електронний тахометр. Аналізуючи частоту сигналу на цьому виводі, тахометр визначає частоту обертання двигуна та відображає її значення на панелі приладів автомобіля.

Обмотка статора більшості сучасних автомобільних генераторів, як вітчизняного, так і закордонного виробництва, є трифазною. Вона складається з трьох фазних обмоток, у яких генеруються змінні напруги та струми, зміщені одна відносно одної на 120° . Такий фазовий зсув забезпечує рівномірніше формування вихідної потужності та підвищує ефективність роботи генератора.

Фазні обмотки можуть бути з'єднані за схемою «зірка» або «трикутник». При цьому розрізняють фазні та лінійні значення напруги і струму. Фазна напруга $U_{\phi(ABC)}$ діє безпосередньо на виводах кожної обмотки статора, а фазний струм I_{ϕ} протікає через відповідну обмотку. Лінійна напруга U_L вимірюється між лінійними провідниками, що з'єднують обмотки статора з випрямлячем, а лінійний струм I_L протікає в цих провідниках. Оскільки випрямляч підключений до лінійних виводів генератора, саме лінійні напруги та струми беруть участь у процесі випрямлення.

Змінний струм, що виробляється генератором, перетворюється на постійний за допомогою напівпровідникового випрямляча. У більшості автомобільних генераторів використовується трифазний мостовий випрямляч, який складається із шести силових діодів. Діоди утворюють дві групи: позитивну та негативну. До позитивної групи належать діоди VD1, VD3 і VD5, катоди яких з'єднані між собою та формують позитивний вивід випрямленої напруги. До негативної групи входять діоди VD2, VD4 і VD6, аноди яких з'єднані між собою та утворюють негативний вивід, який підключається до маси автомобіля.

Така схема випрямлення (рис. 1.3) забезпечує перетворення трифазної змінної напруги на постійну з невеликим рівнем пульсацій, що дозволяє ефективно живити електрообладнання автомобіля та заряджати акумуляторну батарею. Використання трифазного мостового випрямляча сприяє підвищенню ККД генератора, покращенню його навантажувальної здатності та зменшенню електромагнітних перешкод у бортовій мережі транспортного засобу.

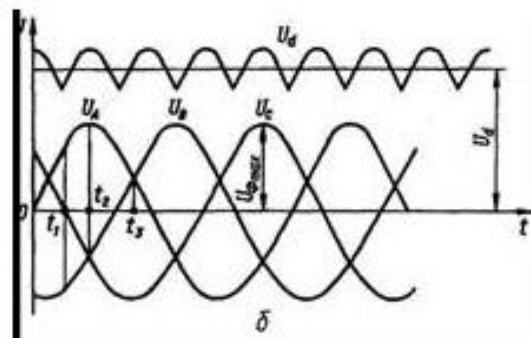
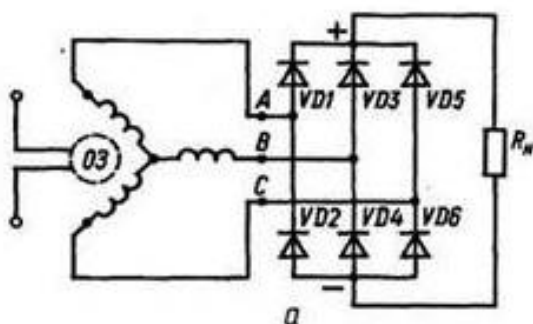


Рисунок 1.3 – Трифазний генератор: а – схема генератора змінного струму з випрямлячем; б – графік зміни напруги у часі [2]

У трифазному мостовому випрямлячі в кожний момент часу струм проходить через два діоди: один із позитивної групи та один із негативної. Із позитивної групи проводить струм діод, анод якого має найбільший потенціал відносно інших фаз, тоді як із негативної групи відкривається діод, катод якого перебуває під найменшим потенціалом.

Наприклад, в інтервалі часу $t_1...t_2$ струм протікає від фази А через діод VD1, навантаження R_H і діод VD4 до фази В. У цей момент діод VD1 має найбільший потенціал анода серед діодів позитивної групи, а діод VD4 – найменший потенціал катода серед діодів негативної групи. У момент часу t_2 діод VD4 закривається, а його функцію починає виконувати діод VD6. При цьому діод VD1 продовжує проводити струм ще протягом однієї шостої частини періоду, до моменту t_3 . Після цього він закривається, а струм починає проходити через діод VD3.

Таким чином, перемикання діодів відбувається через кожну шосту частину періоду змінної напруги. Кожний діод перебуває у відкритому стані протягом однієї третини періоду, що забезпечує безперервне випрямлення трифазної напруги та формування на виході генератора постійної напруги з незначним рівнем пульсацій. Завдяки цьому забезпечується стабільне живлення споживачів електроенергії та ефективне заряджання акумуляторної батареї автомобіля.

Трифазна мостова схема випрямлення струму забезпечує відносно невеликі пульсації випрямлення напруги.

Для забезпечення стабільного рівня напруги на виході генератора при зміні частоти обертання ротора в широкому діапазоні, що зумовлено зміною частоти обертання колінчастого вала двигуна, необхідно відповідним чином регулювати магнітний потік генератора. Оскільки величина вихідної напруги прямо пропорційна магнітному потоку та частоті обертання ротора, підтримання сталої напруги досягається зміною струму збудження за допомогою регулятора напруги.

Регулятор напруги автоматично змінює силу струму в обмотці збудження залежно від режиму роботи генератора, забезпечуючи підтримання напруги бортової мережі в заданих межах. У сучасних автомобілях застосовуються різні типи регуляторів напруги, серед яких виділяють контактно-вібраційні, контактно-транзисторні, безконтактні транзисторні та інтегральні регулятори.

Контактні регулятори напруги характеризуються наявністю механічних контактів, які в процесі експлуатації піддаються зносу та потребують періодичного обслуговування і регулювання. До їхніх недоліків належать нестабільність параметрів регулювання, обмежений ресурс роботи та зниження точності підтримання напруги.

Найбільшого поширення в сучасних генераторних установках набули безконтактні транзисторні регулятори (рис. 1.4), виконані у вигляді інтегральних мікросхем. Вони забезпечують високу точність підтримання напруги, надійність роботи, відсутність механічного зносу та не потребують технічного обслуговування протягом усього терміну експлуатації. Крім того, інтегральні регулятори мають малі габарити, високу швидкодію та добре пристосовані до роботи в умовах значних температурних коливань і вібрацій, характерних для автомобільної техніки.

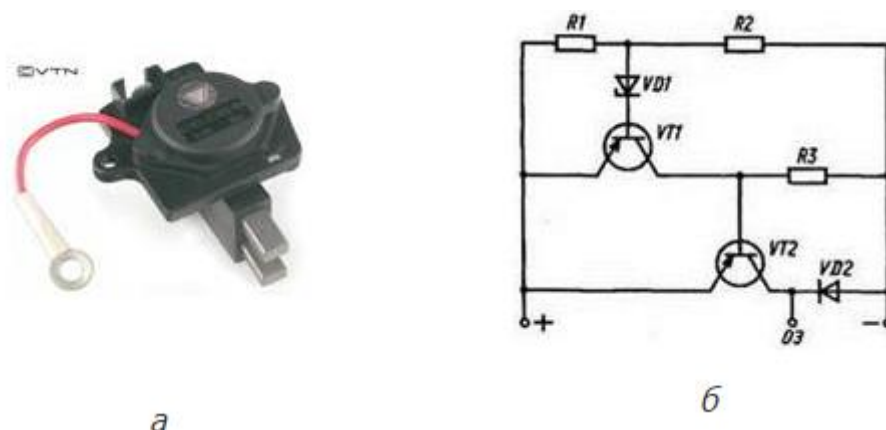


Рисунок 1.4 – Безконтактний транзисторний регулятор напруги:

а – загальний вигляд регулятора «VTN»; б – схема принципова регулятора «Bosch» [3]

Під час технічного обслуговування генераторної установки перевіряють надійність кріплення кришок, шківів та інших конструктивних елементів генератора. Обертанням ротора вручну оцінюють легкість його ходу та стан підшипникових вузлів. Після демонтажу щіткотримача контролюють ступінь зносу щіток, легкість їх переміщення в напрямних, а також стан контактних кілець ротора.

При розбиранні генератора виконують перевірку обмоток статора і ротора на наявність обривів, міжвиткових замикань та замикань на корпус. Окремо перевіряють працездатність випрямного блока та регулятора напруги. Важливим етапом діагностики є визначення частоти обертання ротора, за якої генератор досягає номінальної напруги без навантаження та при номінальному навантаженні. Також контролюють параметри регулятора напруги і, за необхідності, виконують його налаштування. Сучасні інтегральні регулятори напруги є нерозбірними виробами і в разі несправності підлягають заміні.

Перевірку працездатності генераторів та регуляторів напруги виконують безпосередньо на автомобілі за допомогою переносних діагностичних приладів або в умовах майстерні на спеціалізованих випробувальних стендах.

Для приводу генераторів на стендах використовують електродвигуни з плавним регулюванням частоти обертання, що дозволяють відтворювати різні режими роботи двигуна автомобіля. Частота обертання ротора генератора контролюється тахометром. Необхідне навантаження створюється за допомогою навантажувального реостата або електронного навантажувального модуля, а значення струму та напруги контролюються амперметром і вольтметром відповідно. Коло збудження генератора підключається до акумуляторної батареї через вимикач або керований комутаційний пристрій.

1.2 Конструкції автомобільних стартерів

Система пуску є однією з найважливіших систем автомобіля, оскільки забезпечує початковий запуск двигуна внутрішнього згоряння. Саме від її справності та ефективності залежить можливість переведення двигуна зі стану

спокою в робочий режим. Основним завданням системи пуску є створення необхідної частоти обертання колінчастого вала, за якої в циліндрах двигуна відбувається займання паливно-повітряної суміші та починається самостійна робота силового агрегату.

На відміну від усталеного режиму роботи двигуна, під час запуску він не здатний самостійно виробляти механічну енергію. Для подолання сил тертя в рухомих вузлах, опору стисканню робочої суміші в циліндрах, а також впливу підвищеної в'язкості моторної оливи за низьких температур необхідне зовнішнє джерело енергії. Таку енергію забезпечує акумуляторна батарея, яка через стартер перетворює електричну енергію на механічну роботу, необхідну для обертання колінчастого вала двигуна.

Після досягнення необхідної частоти обертання та виникнення перших робочих циклів двигун переходить до самостійної роботи. У цей момент система пуску автоматично відключається, що запобігає перевантаженню та пошкодженню її елементів. Незважаючи на короткочасність роботи, система пуску має вирішальне значення для надійної експлуатації автомобіля.

До складу системи пуску входять акумуляторна батарея, стартер, тягове реле, механізм приводу стартера, замок запалювання або кнопка запуску, а також силові та керувальні електричні кола. Узгоджена робота всіх елементів забезпечує швидкий і надійний запуск двигуна. Навіть незначна несправність одного з компонентів може призвести до неможливості запуску автомобіля.

До системи пуску висуваються підвищені вимоги щодо надійності, довговічності та ефективності. Вона повинна забезпечувати стабільний запуск двигуна за різних кліматичних умов, включаючи низькі температури, підвищену вологість та тривалі періоди простою автомобіля. Стартер має розвивати достатній крутний момент для подолання всіх механічних опорів двигуна, а сам процес запуску повинен відбуватися максимально швидко, щоб зменшити навантаження на акумуляторну батарею та знизити зношування деталей двигуна.

Важливою вимогою є також безпека експлуатації. Система пуску повинна бути захищена від коротких замикань, перевантажень та випадкового

ввімкнення стартера під час роботи двигуна. Крім того, вона має витримувати значну кількість циклів запуску без погіршення експлуатаційних характеристик.

Ключовим елементом системи пуску є стартер – електромеханічний пристрій, призначений для перетворення електричної енергії акумуляторної батареї в механічну енергію обертання. Конструкція стартера поєднує електричні та механічні вузли, які забезпечують необхідний крутний момент і високу надійність роботи.

Зовнішнім конструктивним елементом стартера є корпус, який виконує захисну функцію та оберігає внутрішні компоненти від механічних пошкоджень, вологи, пилу та температурних впливів. Найчастіше корпус виготовляють з алюмінієвих сплавів або сталі, що забезпечує необхідну міцність і ефективне відведення тепла.

Основною рухомою частиною стартера є якір, який являє собою вал з обмоткою та колектором. Під час подачі струму на обмотки якоря створюється електромагнітне поле, що взаємодіє з магнітним полем статора та викликає обертання вала. Через механізм приводу це обертання передається на зубчастий вінець маховика колінчастого вала двигуна.

Статор є нерухомою частиною електродвигуна стартера і призначений для створення магнітного поля. У традиційних конструкціях він містить обмотки збудження, виконані мідним проводом великого перерізу, а в сучасних стартерах дедалі частіше використовуються постійні магніти.

Передача електричної енергії до обмоток якоря здійснюється через колекторно-щітковий вузол. Колектор складається з окремих мідних пластин, ізованих одна від одної, а графітові щітки забезпечують надійний електричний контакт під час обертання якоря. Завдяки цьому здійснюється комутація струму в обмотках якоря та створюється необхідний обертовий момент.

Важливим елементом конструкції стартера є обгінна муфта (муфта вільного ходу), яка забезпечує передачу крутного моменту від стартера до маховика лише під час запуску двигуна. Після запуску та збільшення частоти

обертання колінчастого вала муфта автоматично роз'єднує привід стартера і двигуна, запобігаючи пошкодженню стартера внаслідок надмірної частоти обертання.

Отже, стартер є складним електромеханічним пристроєм, від технічного стану якого значною мірою залежить надійність запуску двигуна та безперебійна експлуатація автомобіля. Детальна конструкція автомобільного стартера наведена на рисунку 1.5, прийняті наступні позначення: 1 – кришка на боці приводу; 2 – запобіжне кільце; 3 – лімітуюче кільце; 4 – приводна шестерня; 5 – фрикційна муфта; 6 – кермове кільце; 7 – гумовий захисний ковпачок; 8 – рукоятка приводу; 9 – ротор реле; 10 – захисна обмотка тягового реле; 11 – стартова обмотка тягового реле; 12 – кріпильний болт реле; 13 – контактна шайба; 14 – захисна кришка реле; 15 – контактні болти; 16 – колектор; 17 – вугільна щітка; 18 – підшипник валу ротора; 19 – кришка на боці колектора; 20 – обшивка; 21 – шунтова обмотка статора; 22 – каркас; 23 – болт кріплення полюса статора; 24 – ротор; 25 – обмотка ротора; 26 – перехідне кільце.

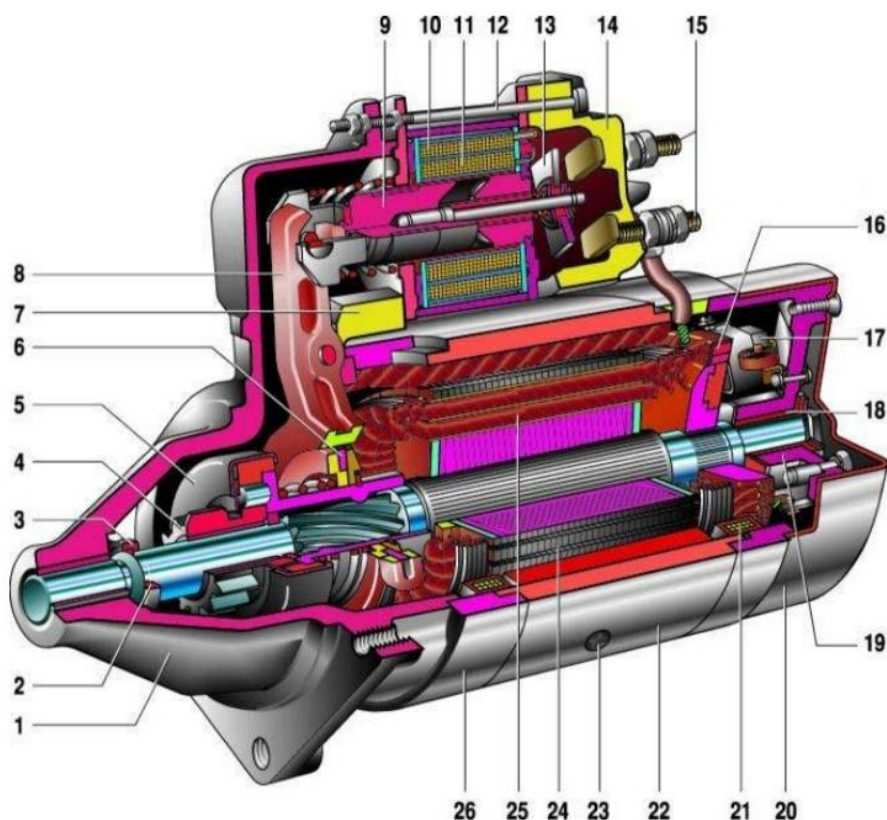
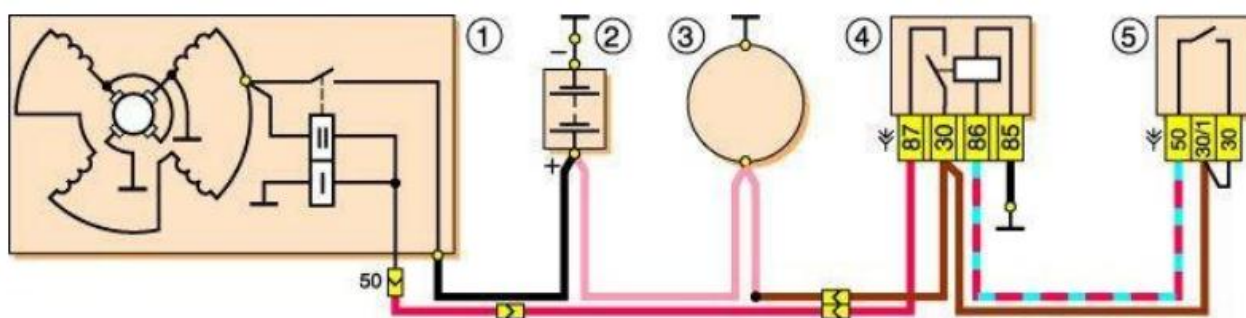


Рисунок 1.5 – Будова автомобільного стартера [4]

Стартер є одним із ключових елементів електричного обладнання автомобіля та функціонує як окремий електромеханічний вузол, робота якого координується іншими компонентами бортової електричної системи. Під час запуску двигуна стартер споживає найбільшу кількість електричної енергії серед усіх споживачів автомобіля, оскільки для прокручування колінчастого вала необхідно створити значний крутний момент. Залежно від типу двигуна та умов запуску струм, який споживає стартер, може досягати кількох сотень ампер.

Електроживлення стартера здійснюється безпосередньо від акумуляторної батареї через силове коло та тягове реле. Після подачі керувального сигналу від замка запалювання або кнопки запуску відбувається ввімкнення тягового реле, яке замикає силові контакти та забезпечує подачу струму до електродвигуна стартера. Одночасно механізм приводу вводить шестерню стартера в зачеплення із зубчастим вінцем маховика двигуна.

Схема підключення стартера до бортової системи електроживлення автомобіля наведена на рисунку 1.6.



1 – моторний стартер; 2 – батарея; 3 – альтернатор; 4 – реле запуску стартера;
5 – ключ запалення.

Рисунок 1.6 – Схематичне зображення включення стартера у електросистему автомобіля [4]

Конструкція автомобільних генераторів і стартерів може відрізнятися

залежно від виробника, типу транспортного засобу та технічних вимог, однак принципи їхньої роботи та загальна будова залишаються подібними. Під час розроблення стенда для випробування та діагностики генераторів і стартерів необхідно враховувати особливості їх конструкції, електричних параметрів та схем підключення. Аналіз існуючих технічних рішень дозволяє визначити оптимальну структуру випробувального стенда та забезпечити його універсальність щодо різних моделей електрообладнання.

Схеми керування стартером залежать від особливостей компоновки автомобіля, розташування акумуляторної батареї та стартера, відповідності їхніх номінальних напруг, а також наявності допоміжних пристроїв, призначених для полегшення запуску двигуна. У більшості сучасних автомобілів використовується дистанційне керування стартером за допомогою тягового електромагнітного реле. Акумуляторна батарея розташовується на мінімально можливій відстані від стартера або з'єднується з ним силовими проводами достатнього перерізу для зменшення втрат напруги під час пуску двигуна.

На електричних схемах систем пуску використовуються стандартизовані позначення виводів стартера. Вивід «+» призначений для підключення до позитивної клеми акумуляторної батареї. Вивід «КЗ» або «17» використовується для шунтування додаткового резистора в первинному колі системи запалювання під час запуску двигуна. Вивід «50» призначений для підключення обмоток тягового реле стартера (рис. 1.7).

У системах запуску бензинових двигунів традиційно застосовувалися дві основні схеми керування стартером. У першій схемі використовуються стартери, що не мають контакту для шунтування додаткового резистора системи запалювання. У цьому випадку керування здійснюється за допомогою додаткового реле з двома контактними групами. У другій схемі застосовуються стартери з виводом «КЗ» («17»), а керування виконується додатковим реле з однією контактною групою.

Незважаючи на конструктивні відмінності, обидві схеми працюють за однаковим принципом. Контактний вивід додаткового реле підключається до

кола акумуляторної батареї через амперметр. Таке рішення пояснюється тим, що струм, який споживає тягове реле стартера, значно перевищує допустиме значення для більшості вимірювальних приладів. Один вивід обмотки додаткового реле з'єднується з корпусом автомобіля, а другий через вимикач запалювання підключається до позитивного полюса акумуляторної батареї.

Втягувальна обмотка тягового реле стартера може споживати струм до 30 А, тому для запобігання підгоранню контактів вимикача запалювання в схемі застосовується додаткове проміжне реле. Виводи такого реле зазвичай маркуються таким чином: «К» – виводи обмотки реле, «Б» – вивід підключення до акумуляторної батареї, «С», «С1», «С2» – контакти для керування зовнішніми електричними колами.

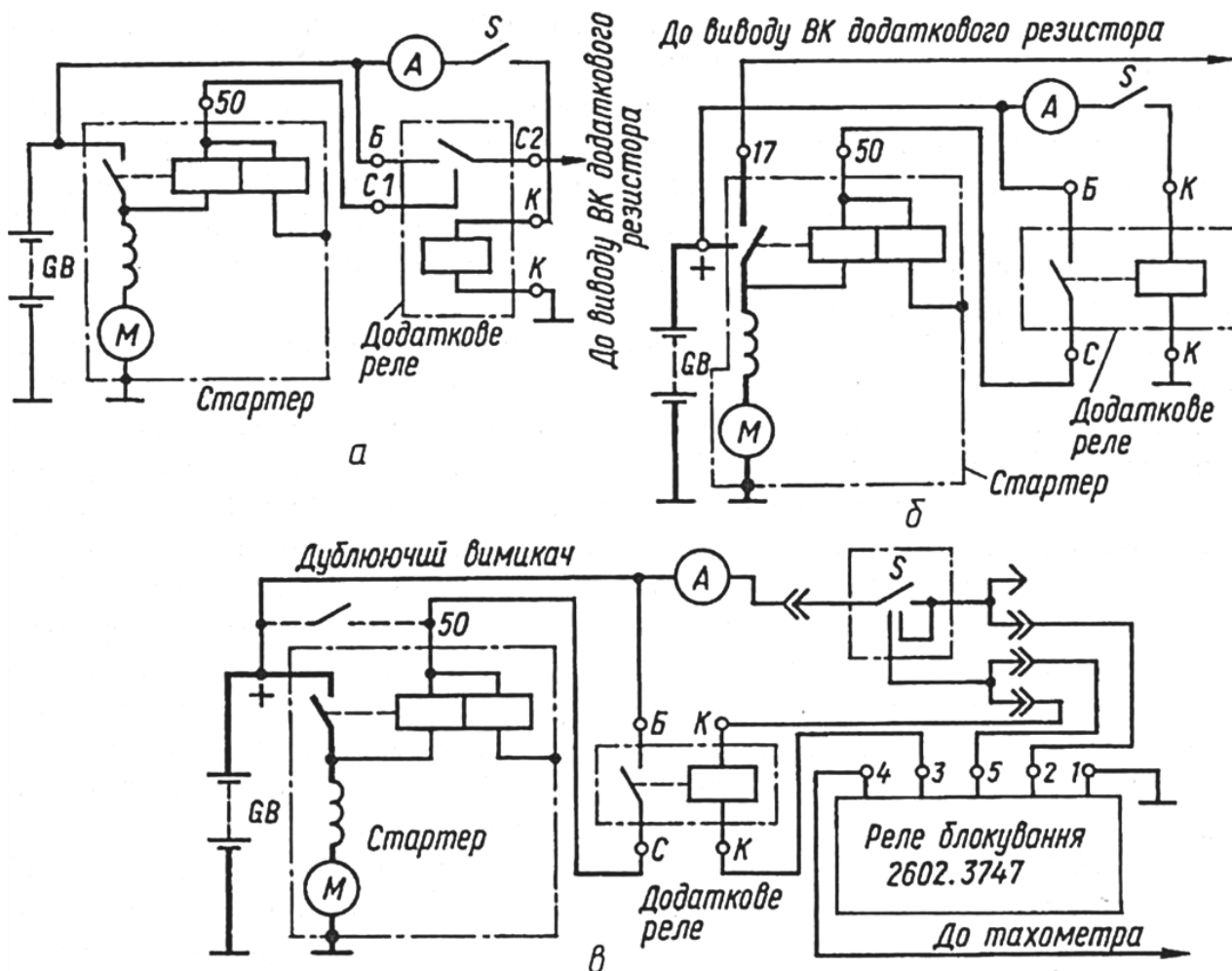


Рисунок 1.7 – Схеми ввімкнення статорів [5]

Принцип роботи системи пуску наступний. Після замикання контактів

вимикача запалювання струм проходить через обмотку додаткового реле, внаслідок чого його контакти замикаються. Далі струм надходить до тягового реле стартера двома паралельними колами. Перше коло містить утримувальну обмотку, а друге – втягувальну обмотку, обмотку збудження та обмотку якоря стартера. Під дією магнітного поля, створеного струмом у втягувальній та утримувальній обмотках, якір тягового реле переміщується та через механізм приводу вводить шестерню стартера в зачеплення із зубчастим вінцем маховика двигуна. Одночасно контактний диск тягового реле замикає силове коло електродвигуна стартера і шунтує втягувальну обмотку. Після цього стартер переходить у режим нормальної роботи, а тягове реле утримується у ввімкненому стані лише утримувальною обмоткою до завершення процесу запуску двигуна.

В автомобілях із дизельними двигунами система запалювання відсутня, тому схеми керування стартером не містять кола шунтування додаткового резистора, характерного для бензинових двигунів. У деяких конструкціях для підвищення надійності запуску додатково встановлюють дублюючий вимикач стартера, який розташовується безпосередньо на двигуні або поблизу нього.

У традиційних схемах керування стартером після запуску двигуна необхідно своєчасно припинити його роботу. Якщо шестерня приводу стартера тривалий час залишається в зачепленні з маховиком двигуна, це може призвести до прискореного зношування або пошкодження муфти вільного ходу, а також до виходу з ладу якоря електродвигуна стартера. Не менш небезпечним є ввімкнення стартера під час роботи двигуна, оскільки в такому випадку можливе пошкодження зубців шестерні приводу, вінця маховика або руйнування муфти вільного ходу.

Практика експлуатації показує, що водії нерідко із запізненням вимикають стартер після запуску двигуна, що негативно впливає на його довговічність. Крім того, несправність вимикача стартера може спричинити тривалу роботу електродвигуна стартера на надмірно високій частоті обертання. Наслідком цього можуть стати руйнування колектора, вихід стартера з ладу та інтенсивне розрядження акумуляторної батареї.

Для запобігання таким несправностям у сучасних системах пуску застосовують реле блокування стартера. Використання цього пристрою дозволяє суттєво підвищити ресурс стартера та забезпечити безпечні умови його експлуатації. Основними функціями реле блокування є автоматичне вимкнення стартера після запуску двигуна та запобігання його повторному ввімкненню під час роботи двигуна.

Робота реле блокування базується на контролі частоти обертання колінчастого вала двигуна. Пристрій налаштовується на певне значення частоти обертання, яке перевищує максимально можливу частоту прокручування двигуна стартером, але є меншим за мінімальну частоту обертання двигуна після його запуску та переходу в режим стійкої роботи. Після досягнення заданого значення частоти обертання реле отримує сигнал від датчика контролю обертів і розмикає коло живлення тягового реле стартера. У результаті стартер автоматично відключається, що запобігає перевантаженню його механічних та електричних елементів і підвищує надійність роботи всієї системи пуску.

1.3 Види обладнання з діагностики стартерів та генераторів їх функціональні можливості

На сьогодні на ринку представлено широкий спектр діагностичного обладнання та спеціалізованих стендів для перевірки, випробування і ремонту автомобільних стартерів та генераторів. Такі пристрої призначені для визначення технічного стану електромеханічних вузлів, виявлення несправностей окремих компонентів і контролю їх основних електричних та механічних параметрів. Застосування сучасних стендів дозволяє значно підвищити точність діагностики, скоротити час проведення випробувань і забезпечити об'єктивну оцінку працездатності агрегатів.

Більшість сучасних стендів працює за схожим принципом та забезпечує вимірювання напруги, струму, частоти обертання, потужності та інших характеристик генераторів і стартерів. Водночас окремі моделі можуть суттєво

відрізнятися за конструктивним виконанням, габаритними розмірами, рівнем автоматизації, функціональними можливостями, складом вимірювального обладнання та програмного забезпечення. Крім того, значний вплив на технічні характеристики стенда мають його виробник та сфера застосування – від невеликих сервісних майстерень до спеціалізованих діагностичних центрів.

Сучасні випробувальні стенди можуть оснащуватися цифровими системами збору та обробки даних, сенсорними панелями керування, інтерфейсами зв'язку з персональним комп'ютером, автоматизованими режимами тестування та функціями формування звітів про результати діагностики. Такі можливості дозволяють не лише визначати наявність несправностей, а й виконувати детальний аналіз роботи агрегатів у різних режимах навантаження.

Для обґрунтування вибору технічних рішень при розробленні стенда доцільно розглянути найбільш поширені моделі діагностичного обладнання, які нині використовуються на підприємствах технічного обслуговування та ремонту автомобілів. Аналіз їх конструктивних особливостей, функціональних можливостей і технічних характеристик дозволить визначити оптимальні параметри майбутнього стенда та сформулювати вимоги до його структури і програмно-апаратної реалізації.

На рисунку 1.8 представлений стенд для діагностики генераторів та стартерів MD 1.



Рисунок 1.8 – Стенд MD 1 [6]

Стенд MD-1 призначений для діагностики стартерів і генераторів легкових та вантажних автомобілів без їх встановлення на транспортний засіб. Обладнання забезпечує перевірку агрегатів з номінальною напругою 12 В і 24 В, а також вимірювання основних електричних параметрів під час випробувань.

Живлення стенда здійснюється від трифазної мережі змінного струму напругою 380 В. Як привід використовується електродвигун виробництва Mitsubishi з електронною системою керування, що забезпечує плавний запуск і зупинку, а також безступеневе регулювання частоти обертання в діапазоні від 0 до 6000 об/хв у прямому та реверсному режимах. Крім ручного налаштування, передбачено автоматичний режим роботи з фіксованою частотою обертання 3000 об/хв.

Під час перевірки генераторів стенд дозволяє створювати навантаження струмом до 200 А. Формування навантаження здійснюється за допомогою шести незалежних активних навантажувальних секцій, що забезпечують можливість моделювання різних режимів роботи генератора. Особливістю стенда є підтримка діагностики не лише силових виводів, а й інформаційних сигналів сучасних генераторів, зокрема PD, Active L, FR-SIG та DFM.

Для швидкого встановлення випробовуваних агрегатів стенд оснащений

універсальним механізмом натягу ремня, придатним для роботи як із полікліновими, так і з клиновими ремнями. Завдяки цьому час монтажу генератора на стенд становить лише 20...30 секунд.

Стенд забезпечує перевірку стартерів з номінальною напругою 12 В і 24 В та потужністю до 9,2 кВт у режимі холостого ходу. Необхідний пусковий струм формується за допомогою двох стандартних автомобільних акумуляторних батарей напругою 12 В.

Контроль параметрів роботи здійснюється за допомогою цифрової системи індикації, яка відображає значення струму, напруги та частоти обертання привідного двигуна. У модифікації MD-1 PRO Print передбачена можливість підключення до персонального комп'ютера через USB-інтерфейс. Спеціалізоване програмне забезпечення дозволяє будувати графічні залежності напруги від струму та частоти обертання в реальному часі, що значно полегшує виявлення нестабільних і періодичних несправностей генераторів та стартерів.

Габаритні розміри стенда становлять $900 \times 1520 \times 800$ мм, а маса – 150 кг. Завдяки високому рівню автоматизації, широкому функціоналу та можливості комп'ютерного моніторингу результатів випробувань стенд MD-1 є ефективним засобом діагностики сучасних автомобільних генераторів і стартерів.

На рисунку 1.9 представлено універсальний випробувальний стенд MOTOPLAT, призначений для діагностики та випробування автомобільних стартерів і генераторів. Стенд випускається у двох модифікаціях: C21 GE з аналоговою системою індикації та CV21 BP з цифровою системою відображення результатів вимірювань.



Рисунок 1.9 – Стенд MOTOPLAT [6]

Обидві моделі стендів забезпечують перевірку стартерів і генераторів, призначених для роботи в електричних системах автомобілів з номінальною напругою 6, 12 та 24 В. Як привід використовується електродвигун потужністю 7,5 кВт, керування яким здійснюється за допомогою програмованої електронної системи. Це дозволяє точно регулювати частоту обертання та відтворювати різні режими роботи генераторів під час випробувань.

Висока потужність привідного двигуна забезпечує можливість тестування генераторів із вихідним струмом до 200 А та 240 А при напрузі 24 В. Для запобігання перевантаженню обладнання під час роботи в режимах максимального навантаження стенд оснащений системою захисту, яка контролює електричні параметри та забезпечує безпечну експлуатацію випробувального комплексу.

Керування частотою обертання приводу може здійснюватися як у фіксованих режимах із частотою 1500 та 3000 об/хв, так і в режимі плавного регулювання за допомогою електронного регулятора. Такий підхід дозволяє моделювати різні умови роботи генератора та виконувати оцінювання його характеристик у широкому діапазоні швидкостей обертання.

Стенди MOTOPLAT відзначаються універсальністю застосування, високою точністю вимірювання параметрів та можливістю діагностики

широкого спектра автомобільних генераторів і стартерів. Завдяки цьому вони широко використовуються на спеціалізованих підприємствах, що займаються технічним обслуговуванням і ремонтом електрообладнання транспортних засобів. Крім того, наявність програмованої системи керування та регульованого приводу дозволяє виконувати випробування агрегатів у режимах, максимально наближених до реальних умов експлуатації автомобіля.

На рисунку 1.10 представлений стенд перевірки генераторів та стартерів AST-55.



Рисунок 1.10 – Стенд для перевірки генераторів та стартерів AST-55 [6]

Під час розроблення стенда основна увага приділялася забезпеченню компактних габаритів конструкції, скороченню часу проведення діагностики та підвищенню зручності експлуатації. Однією з ключових вимог була можливість швидкого встановлення і демонтажу генераторів та стартерів різних типів без необхідності використання додаткового інструменту.

Випробовуваний агрегат встановлюється на спеціальну опорну платформу або безпосередньо на робочу поверхню стенда залежно від його конструктивних особливостей і фіксується за допомогою затискного ланцюга. При першому переміщенні важеля здійснюється затискання ланцюга, а при другому – натягування приводного ремня до необхідного зусилля. Завдяки такому механізму встановлення агрегату займає лише 10–15 секунд, що значно підвищує продуктивність роботи.

На відміну від більшості традиційних стендів, які обладнані лише індикаторами напруги та постійного струму, дана конструкція додатково оснащена індикатором змінної складової струму. Аналіз цього параметра дозволяє оперативно виявляти низку несправностей електрообладнання. Зокрема, підвищене значення змінної складової струму під час перевірки генератора може свідчити про несправність діодного моста або окремих випрямних діодів. Під час діагностики стартера аналогічне відхилення може бути ознакою зношення щіткового вузла або порушення електричного контакту між ламелями колектора та обмоткою якоря.

Крім того, стенд оснащений індикатором потужності, за допомогою якого визначається максимальний вихідний струм генератора та оцінюється його навантажувальна здатність. Під час перевірки стартера контроль споживаної потужності дозволяє виявляти несправності обмоток статора, дефекти якоря, а також підвищений механічний опір, спричинений зношенням втулок або підшипникових вузлів. Такий підхід забезпечує більш повну та достовірну оцінку технічного стану агрегатів порівняно з використанням лише стандартних електричних вимірювань.

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ВИПРОБУВАНЬ АВТОМОБІЛЬНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ТА СТАРТЕРІВ

2.1 Проєктування випробувальної системи

Оскільки автомобільний генератор не лише забезпечує живлення системи запалювання та інших електричних споживачів, а й здійснює заряджання акумуляторної батареї, то стабільність вироблення електроенергії та довговічність роботи генератора мають надзвичайно важливе значення. Це зумовлює необхідність створення ефективних систем випробування, які дозволяють оцінювати якість, функціональні можливості та експлуатаційні характеристики генераторів.

З розвитком автомобільної промисловості останніми роками було розроблено значну кількість інтегрованих та інтелектуальних випробувальних платформ для автомобільних генераторів та стартерів. Проте більшість із них забезпечують лише базові функції перевірки робочих характеристик генератора, характеризуються невисокою ефективністю випробувань, а можливості вимірювань обмежуються стандартними умовами навколишнього середовища.

Концепція випробувальної системи передбачає використання персонального комп'ютера верхнього рівня керування, який через інтерфейси зв'язку RS232 та RS485 і плату збору даних NI PCI-6221 (рис. 2.1) здійснює керування електроприводом зі змінною частотою обертання, температурною камерою, електронним навантаженням та іншими інтелектуальними пристроями. Така система дозволяє моделювати різноманітні режими роботи автомобільного генератора та стартера, виконувати моніторинг його стану та реєструвати параметри в режимі реального часу.

Плата збору даних NI PCI-6221 виробництва National Instruments є багатофункціональним вимірювальним модулем, призначеним для побудови автоматизованих систем контролю, моніторингу та діагностики. Вона належить до серії M Series і поєднує в собі можливості високоточного

аналого-цифрового перетворення, цифрового введення-виведення та вимірювання частотно-часових параметрів. Завдяки високій швидкодії та значній кількості вимірювальних каналів плата широко використовується у лабораторних установках, наукових дослідженнях, промислових системах автоматизації та випробувальних стендах.

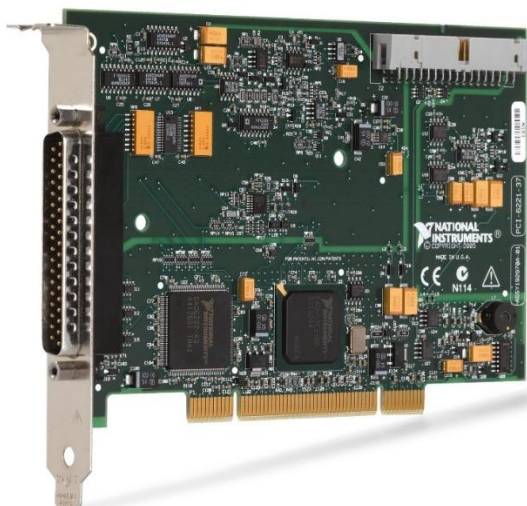


Рисунок 2.1 – Плата збору даних NI PCI-6221 [7]

Основою NI PCI-6221 є 16-розрядний аналого-цифровий перетворювач, що забезпечує високу точність вимірювання аналогових сигналів. Плата дозволяє здійснювати одночасний контроль великої кількості параметрів, зокрема напруги, струму, температури, частоти обертання, вібрацій та інших фізичних величин після їх перетворення відповідними датчиками. Важливою особливістю модуля є можливість роботи з цифровими входами та виходами, а також наявність вбудованих лічильників і таймерів, що дозволяє реалізовувати вимірювання частоти імпульсних сигналів та синхронізацію роботи окремих вузлів системи.

У розроблюваному стенді для діагностики стартерів і генераторів плата NI PCI-6221 виконує функцію центрального вузла збору та обробки інформації. До її аналогових входів можуть підключатися датчики напруги та струму, що забезпечують контроль електричних параметрів генератора або стартера. Використання лічильників і таймерів дає можливість визначати частоту обертання ротора генератора або вала стартера за сигналами датчиків

Холла чи оптичних енкодерів. Отримані дані в режимі реального часу передаються до персонального комп'ютера, де здійснюється їх обробка, відображення та збереження.

Вибір плати NI PCI-6221 для реалізації системи збору даних стенда є технічно обґрунтованим. По-перше, вона забезпечує високу точність вимірювання, що є важливим при оцінюванні технічного стану генераторів і стартерів. По-друге, наявність великої кількості каналів дозволяє одночасно контролювати декілька параметрів без використання додаткових вимірювальних модулів. По-третє, підтримка програмного середовища LabVIEW значно спрощує створення програмного забезпечення для візуалізації результатів діагностики та автоматичного формування звітів.

Застосування NI PCI-6221 також дозволяє реалізувати сучасні функції моніторингу, зокрема побудову графіків залежності напруги від струму, аналіз зміни параметрів у часі, реєстрацію перехідних процесів та збереження результатів випробувань у базі даних. Це особливо важливо при виявленні нестабільних або періодичних несправностей, які складно зафіксувати за допомогою звичайних стрілочних чи цифрових приладів.

Випробувальний комплекс забезпечує одночасне проведення випробувань двох автомобільних генераторів, включаючи перевірку роботи при високих швидкостях обертання, випробування на термостійкість за підвищених температур, а також контроль електричних характеристик і виконання заводських приймально-здавальних випробувань. Для забезпечення відповідності технічним вимогам і галузевим стандартам система має високі показники точності вимірювання та керування основними параметрами випробувань.

2.2 Структура апаратного забезпечення випробувальної системи

Апаратна частина системи складається з п'яти основних вузлів: шафи керування, кліматичної камери високих і низьких температур, електронного навантажувального блока, розподільчої шафи та системи охолодження.

Структурна схема апаратної частини та взаємозв'язки між її основними вузлами наведені на рисунку 2.2.

Шафа керування призначена для дистанційного керування та моніторингу роботи випробувального комплексу. У її складі розміщені промисловий комп'ютер, плата збору даних, рідкокристалічний дисплей, частотний перетворювач та допоміжне електротехнічне обладнання.

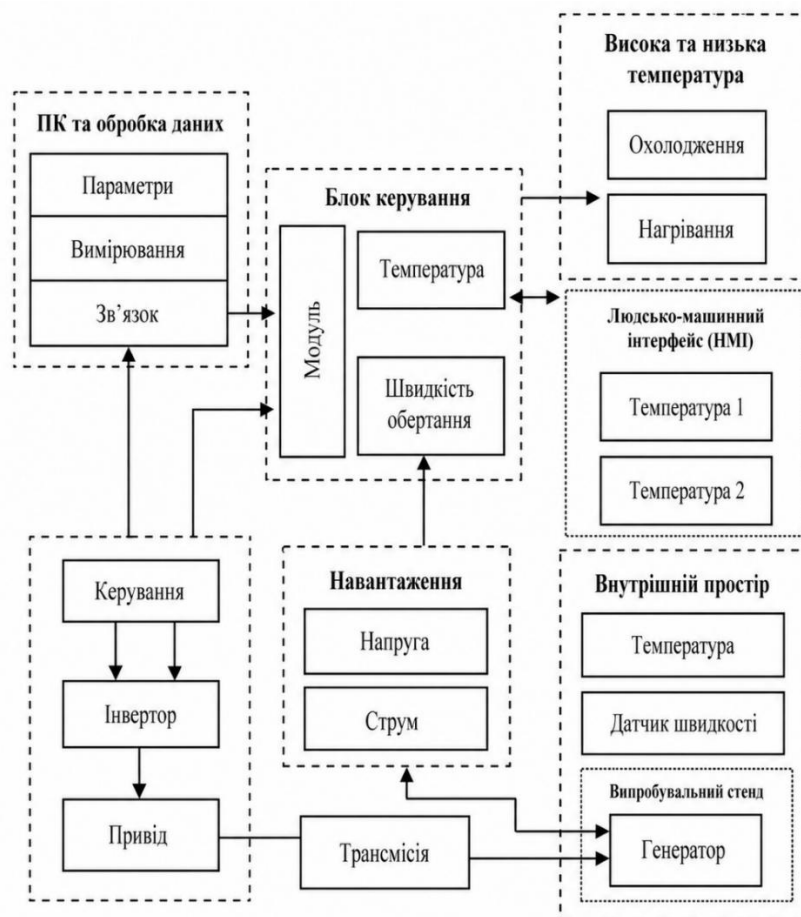


Рисунок 2.2 – Структурна схема апаратної частини та взаємозв'язки між її основними вузлами

Кліматична камера забезпечує моделювання впливу зовнішніх умов експлуатації на автомобільний генератор. Вона дозволяє змінювати температуру в діапазоні від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 30 хвилин та обмінюється даними з центральним комп'ютером через інтерфейс RS485. Конструктивно камера складається з трьох частин. Нижня частина містить кріплення генератора, електродвигун приводу та ремінну передачу, що

забезпечують імітацію реальних режимів роботи генератора. Верхня частина являє собою теплоізовльовану камеру з необхідними кріпленнями та електричними з'єднаннями для створення контрольованого температурного середовища. До складу системи керування входять компресор, нагрівальні елементи, система охолодження, теплоізоляція, засоби автоматичного керування та людино-машинний інтерфейс.

Електронний навантажувальний блок являє собою програмований пристрій, який споживає електроенергію, вироблену генератором, та забезпечує формування різних режимів навантаження. Він підтримує режими стабілізації напруги та струму, а також обмінюється інформацією з керуючим комп'ютером через інтерфейс RS232.

Розподільча шафа призначена для розподілу електричної енергії між вузлами стенда та містить захисні комутаційні апарати, які забезпечують безпечну експлуатацію обладнання.

Система охолодження включає резервуар для води, трубопроводи та допоміжне обладнання, необхідне для відведення тепла від температурної камери та підтримання заданих режимів роботи випробувального комплексу.

2.3 Алгоритм роботи випробувальної системи

Програмне забезпечення випробувальної системи розроблене у середовищі LabVIEW (рис. 2.3), яке забезпечує зручну реалізацію функцій збору даних, керування обладнанням та візуалізації результатів випробувань. Загальна структура розділена на чотири основні модулі: налаштування параметрів системи, налагодження обладнання, випробування на довговічність та випробування експлуатаційних характеристик.

Модуль налаштування параметрів призначений для введення та коригування основних параметрів випробувань. За його допомогою задаються режими роботи стенда, швидкість обертання генератора, температурні умови, рівень навантаження та інші параметри, необхідні для проведення досліджень.

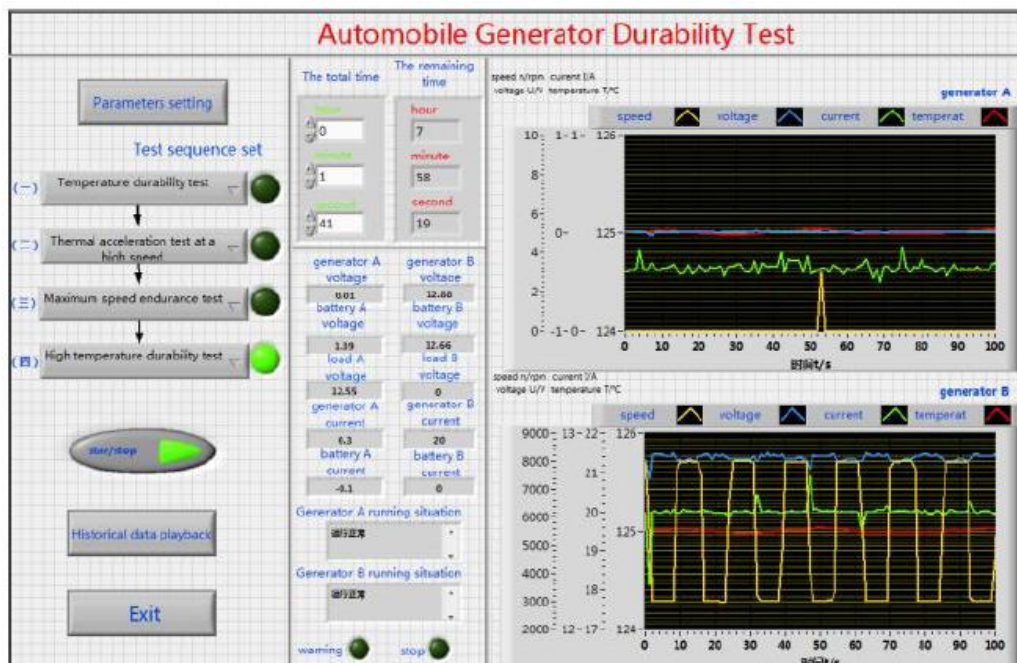


Рисунок 2.3 – Платформа LabVIEW [8]

Модуль налагодження обладнання забезпечує перевірку працездатності та коректності функціонування всіх апаратних складових системи. За його допомогою виконується тестування каналів зв'язку, датчиків, виконавчих механізмів і вимірювальних пристроїв перед початком випробувань.

Модуль випробувань на довговічність призначений для проведення тривалих ресурсних випробувань автомобільних генераторів. У процесі його роботи здійснюється порівняння основних характеристик генератора до та після проходження випробувального циклу, що дозволяє оцінити зміну параметрів і ступінь зносу виробу.

Модуль випробувань експлуатаційних характеристик забезпечує дослідження електричних параметрів генератора, зокрема вихідної напруги, струму навантаження, ефективності роботи та інших характеристик. Крім того, цей модуль дозволяє виконувати додаткові перевірки та спеціалізовані випробування відповідно до поставлених завдань.

Завдяки модульній структурі програмне забезпечення характеризується високою гнучкістю, можливістю подальшого розширення функціональних можливостей та адаптації до різних типів автомобільних генераторів і режимів їх випробування.

Модуль випробувань на довговічність розроблено відповідно до технічних вимог проєкту автомобільного генератора змінного струму компанії Guangzhou Automobile. Основним призначенням модуля є проведення ресурсних випробувань генератора в різних режимах роботи та оцінювання зміни його характеристик протягом тривалого часу експлуатації. Результати випробувань аналізуються після завершення встановленого циклу, тривалість якого може досягати 350 годин. Загальна послідовність проведення випробувань наведена на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Послідовність проведення випробувань

Програма випробувань включає чотири основні види ресурсних випробувань: випробування при циклічній зміні температури, випробування за підвищених температур, випробування в режимах теплового та високошвидкісного прискорення, а також випробування на довговічність за

максимальної частоти обертання. Під час проведення комбінованих циклів послідовність виконання окремих випробувань може змінюватися залежно від вимог конкретного циклу та поставлених завдань. Алгоритм керування процесом випробувань наведено на рисунку 2.5.

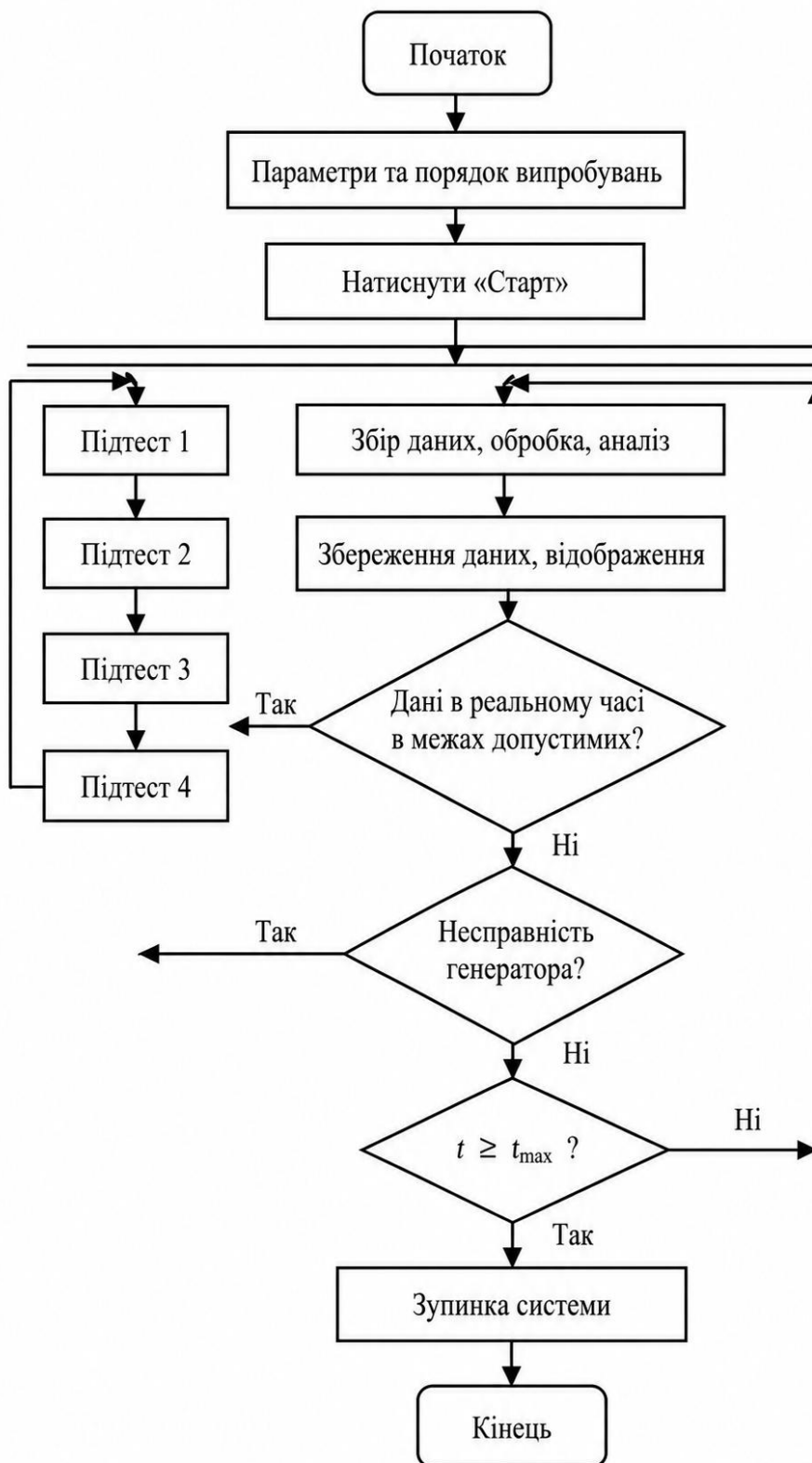


Рисунок 2.5 – Алгоритм керування процесом випробувань

У верхній частині програмного інтерфейсу розташований блок налаштування експерименту, який дозволяє вибрати необхідний тип випробувань на довговічність. Для детального налаштування параметрів окремого етапу передбачено перехід до підменю конфігурації випробування, де задаються тривалість циклу, температура в термокамері, частота обертання генератора, а також режим роботи електронного навантаження. Навантаження може працювати в режимі стабілізації струму, напруги або опору із можливістю встановлення необхідного значення кожного параметра.

Центральна та права частини інтерфейсу призначені для відображення числової та графічної інформації. У режимі реального часу система відображає значення вихідної напруги генератора, напруги акумуляторної батареї, напруги навантаження, струму генератора та струму акумулятора. Крім того, програмне забезпечення будує графіки зміни частоти обертання генератора, напруги, струму та температури в термокамері, що дозволяє оператору контролювати процес випробувань і аналізувати поведінку досліджуваного виробу.

Нижня частина інтерфейсу виконує функції системи сигналізації та відображення аварійних повідомлень. У ній у реальному часі відображається поточний стан випробуваних генераторів. Якщо контрольовані параметри виходять за допустимі межі, система активує попереджувальну або аварійну сигналізацію та виводить повідомлення про причину виникнення несправності. У разі критичного відхилення параметрів, випробування автоматично припиняються для запобігання пошкодженню обладнання.

Для аналізу тривалих випробувань передбачена функція відтворення архівних даних. Користувач може завантажити збережені файли результатів, наприклад за останні 12 годин роботи, після чого система автоматично відобразить відповідні часові залежності у вигляді графіків та осцилограм.

Методика випробування електричних характеристик автомобільного генератора передбачає проведення трьох основних видів досліджень: випробування холодних характеристик, випробування теплових характеристик та випробування потужності й коефіцієнта корисної дії. Такий підхід дозволяє

комплексно оцінити роботу генератора в різних режимах експлуатації та визначити його відповідність встановленим технічним вимогам.

Випробування холодних характеристик проводяться за нормальної температури навколишнього середовища до досягнення робочого теплового режиму генератора. Під час цих випробувань визначаються залежності вихідної напруги та струму від частоти обертання ротора, а також оцінюється здатність генератора забезпечувати необхідний рівень електроживлення за різних навантажень.

Теплові випробування виконуються після досягнення генератором встановленої робочої температури або в умовах підвищеної температури навколишнього середовища. Метою цих досліджень є визначення впливу нагрівання на вихідні параметри генератора, стабільність його роботи та ефективність системи охолодження.

Випробування потужності та коефіцієнта корисної дії дають змогу оцінити енергетичну ефективність генератора. У процесі випробувань вимірюються механічна потужність, що підводиться до вала генератора, та електрична потужність, яку він віддає в навантаження. На основі отриманих даних визначається коефіцієнт корисної дії в різних режимах роботи.

Програмний інтерфейс модуля випробувань електричних характеристик за структурою та принципом роботи аналогічний інтерфейсу модуля випробувань на довговічність. Він забезпечує налаштування параметрів експерименту, відображення поточних значень контрольованих величин, побудову графіків зміни параметрів у часі та збереження результатів вимірювань для подальшого аналізу.

Принцип функціонування випробувальної системи наведений на рисунку 2.6. Центральним елементом системи є промисловий персональний комп'ютер (IPC), який здійснює керування частотним перетворювачем, кліматичною камерою, електронним навантаженням та іншими апаратними модулями за допомогою інтерфейсів зв'язку RS232 і RS485. Для збору, обробки та передавання вимірювальної інформації використовується плата збору даних NI PCI-6221, інтегрована із середовищем LabVIEW.

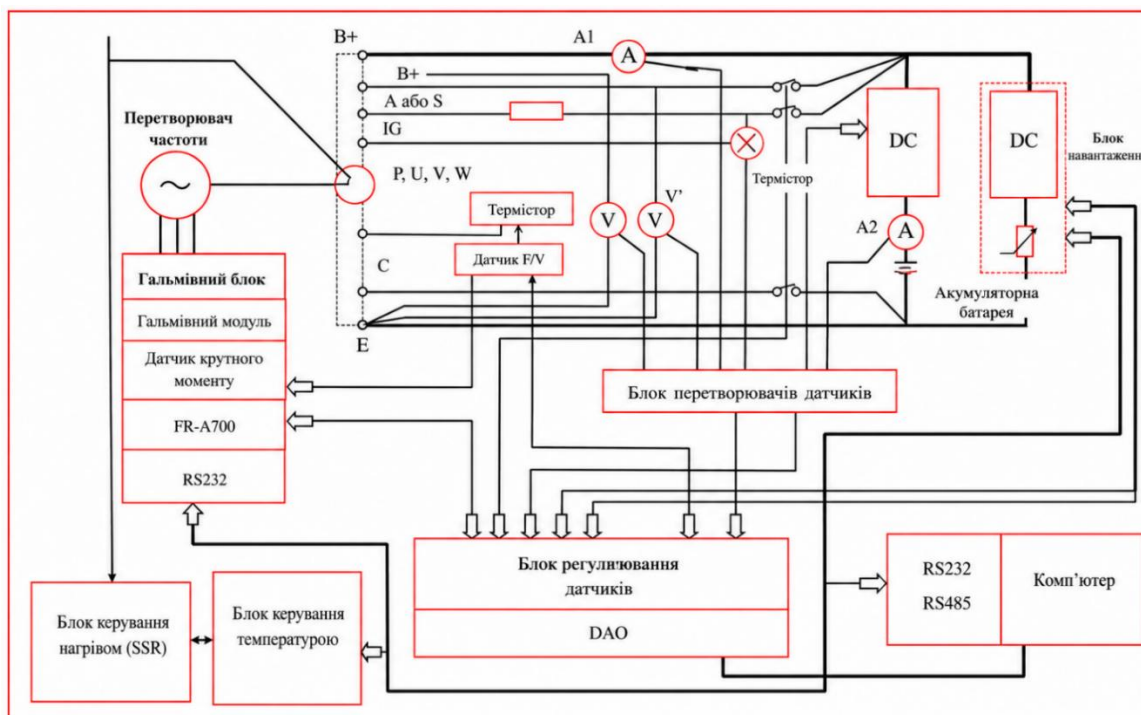


Рисунок 2.6 – Схема структурно-електрична випробувальної системи

Важливою особливістю системи є наявність внутрішніх контурів автоматичного керування частотного перетворювача та температурного контролера кліматичної камери. Завдяки цьому забезпечується висока точність підтримання заданих параметрів випробувань, зокрема частоти обертання генератора та температурних режимів. Поєднання централізованого програмного керування з локальними контурами регулювання дозволяє підвищити стабільність роботи випробувального комплексу та зменшити вплив зовнішніх збурень на результати вимірювань.

У розробленій системі плата збору даних NI PCI-6221 використовується для введення та виведення аналогових сигналів, а також для формування цифрових керуючих сигналів. Через дану плату реалізується регулювання швидкості електропривода генератора, збір даних про напругу та струм генератора, контроль параметрів акумуляторної батареї та інших вимірюваних величин.

Під час проведення випробувань система безперервно реєструє основні електричні параметри, включаючи вихідну напругу генератора, струм навантаження, напругу акумуляторної батареї та споживаний струм. Отримані

дані передаються до програмного забезпечення LabVIEW для подальшої обробки, відображення на екрані оператора та збереження в базі результатів випробувань.

Окрім функцій збору інформації, плата PCI-6221 забезпечує керування допоміжними елементами стенда. За допомогою цифрових виходів можуть вмикатися та вимикатися сигнальні індикатори, виконавчі механізми й елементи системи аварійного захисту. Це дозволяє реалізувати повністю автоматизований режим роботи випробувального комплексу та забезпечити оперативне реагування на виникнення аварійних ситуацій.

Графічна реалізація програмних модулів збору та обробки даних у середовищі LabVIEW наведена на рисунку 2.7. Вона забезпечує візуалізацію результатів вимірювань у режимі реального часу, формування графіків зміни параметрів та архівування інформації для подальшого аналізу.

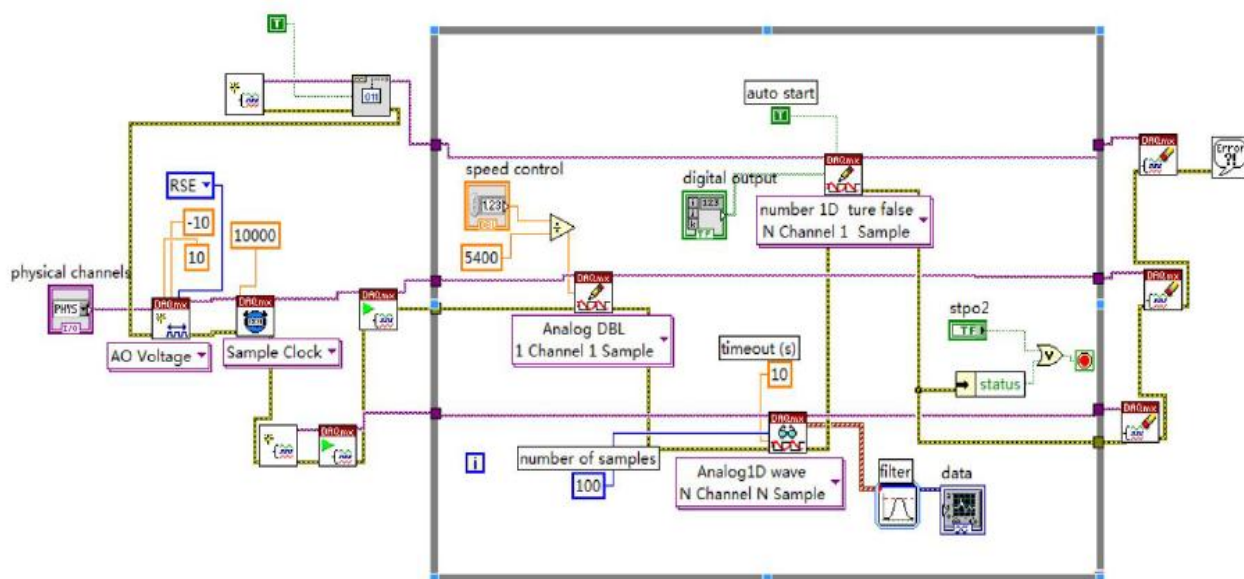


Рисунок 2.7 – Графічна реалізація програмних модулів збору та обробки даних

Алгоритм керування процесом випробувань електричних характеристик генератора наведено на рисунку 2.8. У розробленій системі всі аналогові сигнали, що надходять від датчиків, попередньо перетворюються у сигнали постійної напруги та подаються на вхід плати збору даних NI PCI-6221. До таких сигналів належать значення напруги, струму, температури, частоти обертання та інших контрольованих параметрів.

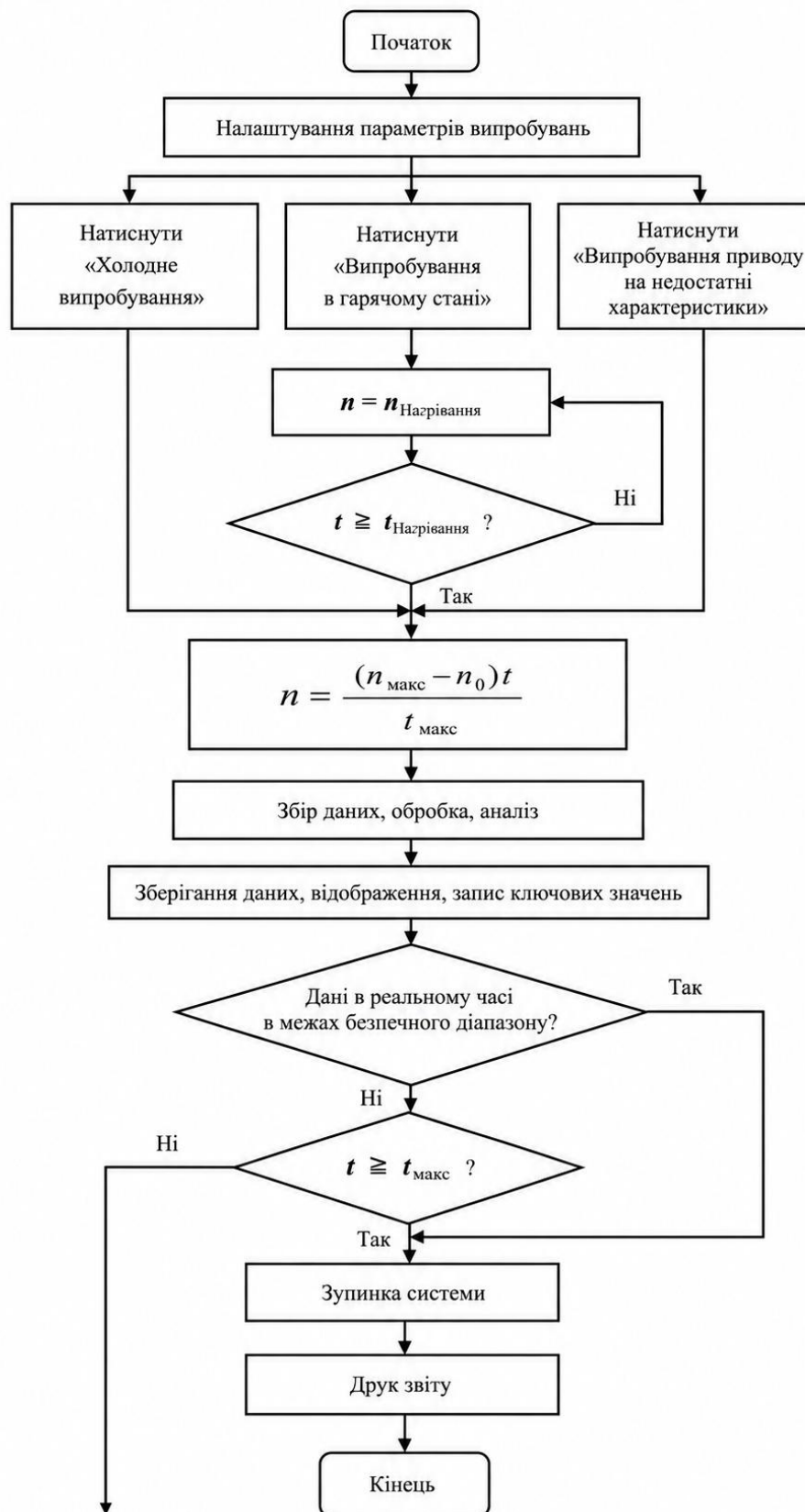


Рисунок 2.8 – Алгоритм керування процесом випробувань електричних характеристик генератора

Залежність між вимірюваною фізичною величиною та відповідною постійною напругою є лінійною. Завдяки цьому програмне забезпечення може

безпосередньо визначати значення вимірюваних параметрів шляхом зчитування аналогових сигналів та виконання лінійного перерахунку відповідно до коефіцієнтів масштабування, встановлених для кожного вимірювального каналу. Такий підхід забезпечує високу точність вимірювань та спрощує процес обробки експериментальних даних.

Обмін даними між персональним комп'ютером і температурною камерою, а також між комп'ютером та електронним навантаженням здійснюється через послідовні інтерфейси зв'язку. Оскільки зазначені пристрої не мають спеціалізованих програмних драйверів для інтеграції із середовищем LabVIEW, для організації обміну даними використовується програмний вузол VISA (Virtual Instrument Software Architecture).

Для спрощення структури програмного забезпечення та підвищення зручності його супроводу функції керування температурною камерою та електронним навантаженням реалізовані у вигляді окремих програмних модулів. Такий підхід дозволяє багаторазово використовувати програмний код, спрощує модернізацію системи та забезпечує можливість незалежного налагодження кожного пристрою.

Оскільки середовище LabVIEW підтримує паралельне виконання програмних процесів, під час розроблення системи були застосовані комбіновані структури циклів та умовних операторів. Це дозволило уникнути конфліктів під час одночасного обміну даними з декількома пристроями та забезпечити стабільне виконання програми в реальному часі.

Передавання команд до температурної камери та електронного навантаження здійснюється циклічно. У кожному циклі програмний модуль формує необхідний набір команд, передає їх до відповідного пристрою, після чого отримує та обробляє зворотну інформацію про його поточний стан. Такий алгоритм забезпечує безперервний контроль параметрів випробувань, оперативне реагування на зміну режимів роботи та підтримання заданих умов експерименту протягом усього циклу випробувань.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДІАГНОСТИКИ АВТОМОБІЛЬНИХ СТАРТЕРІВ І ГЕНЕРАТОРІВ

3.1 Основні технічними характеристиками генераторів та стартерів

Основними технічними характеристиками генераторів є напруга, частота обертання ротора та потужність або сила струму при заданій напрузі.

Характеристика холостого ходу (рис. 3.1) – це залежність ЕРС генератора від струму збудження $E = f(I_z)$, при $n = \text{const}$; $I_n = 0$. Ця характеристика дозволяє встановити частоту обертання ротора генератора, при якій на його виході формується напруга, що відповідає розрахунковому значенню.

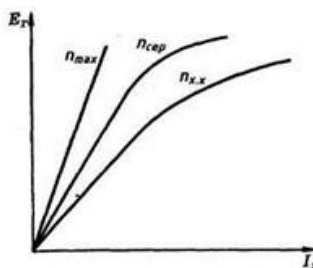


Рисунок 3.1 – Характеристика холостого ходу

Швидкісна характеристика – це залежність ЕРС генератора від частоти обертання його ротора (рис. 3.2). ЕРС генератора змінюється пропорційно частоті обертання ротора:

$$E_{\Gamma} = c\Phi n, \quad (3.1)$$

де n – частота обертання ротора;

c – конструктивна стала величина.

Напруга генератора:

$$U_{\Gamma} = E_{\Gamma} - I_{\Gamma}Z_o, \quad (3.2)$$

де I_{Γ} – струм генератора;

Z_o – повний опір генератора.

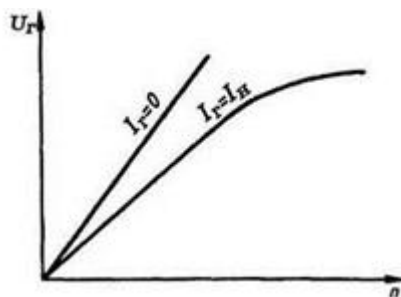


Рисунок 3.2 – Характеристика залежності ЕРС генератора змінного струму від числа обертів

Швидкісна регулювальна характеристика – це залежність струму збудження I_3 від частоти обертання ротора – $I_3 = f(n)$, при $U = \text{const}$ і $I_N = \text{const}$ (рис. 3.3). Оскільки автомобільним генераторам надається рух двигунами внутрішнього згоряння, то частота обертання їхніх колінчастих валів змінюється в широкому діапазоні. Швидкісна регулювальна характеристика показує, яким чином потрібно міняти струм збудження генератора, щоб напруга генератора залишалась незмінною при зміні частоти обертання ротора генератора.

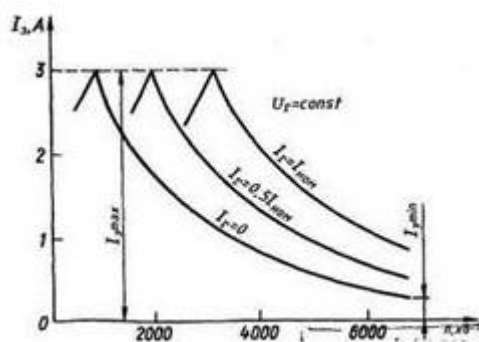


Рисунок 3.3 – Швидкісна регулювальна характеристика

Зовнішня характеристика (рис. 3.4) – це залежність напруги генератора від струму навантаження $U_G = f(I_N)$ при постійній частоті обертання $n = \text{const}$ і визначеному значенні струму збудження I_3 . Зниження напруги при збільшенні навантаження на генератор відбувається через спад напруги в активному та індуктивному опорі обмоток статора, розмагнічувальній дії реакції якоря, а також внаслідок спаду напруги у випрямному колі:

$$U_{\Gamma} = E_{\Gamma} - I_{\Gamma} z_0 - \Delta U_B \quad (3.3)$$

де z_0 – повний опір якоря;

ΔU_B – спад напруги на випрямлячі.

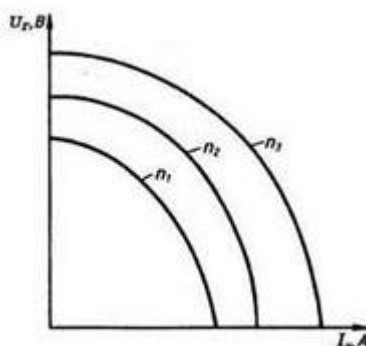


Рисунок 3.4 – Зовнішня характеристика генератора

Струмошвидкісна характеристика (рис. 3.5) – це залежність струму навантаження генератора I_H від частоти обертання його якоря $I_H = f(n)$ $U_{\Gamma} = \text{const}$.

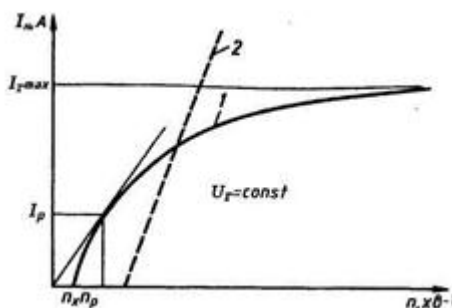


Рисунок 3.5 – Струмошвидкісна характеристика генераторів:

1 – змінного струму; 2 – постійного струму

Генератори змінного струму характеризуються властивістю автоматичного обмеження максимального струму навантаження, що запобігає перегріванню обмоток статора та випрямних діодів. Завдяки цьому відпадає необхідність застосування окремого обмежувача струму в конструкції генераторної установки.

При зростанні струму навантаження збільшується магнітний потік,

створюваний обмотками статора. Цей потік взаємодіє з магнітним полем ротора та частково його послаблює, внаслідок чого результуючий магнітний потік генератора зменшується. Зменшення магнітного потоку призводить до зниження електрорушійної сили, що генерується в обмотках статора, і, відповідно, обмежує подальше зростання струму навантаження.

Крім того, зі збільшенням частоти обертання ротора зростає частота змінного струму в обмотках статора. Це спричиняє підвищення їх індуктивного опору, що також обмежує можливість надмірного зростання вихідного струму генератора та сприяє стабільності його роботи в різних режимах експлуатації.

3.2 Перевірка генератора на стенді

Перевірка на стенді дозволяє визначити справність генератора та відповідність його номінальним характеристикам. У генератора, що перевіряється, щітки повинні бути добре притерті до контактних кільців колектора, а самі кільця чистими.

Схема з'єднань для перевірки генератора на стенді показана на рисунку 3.6.

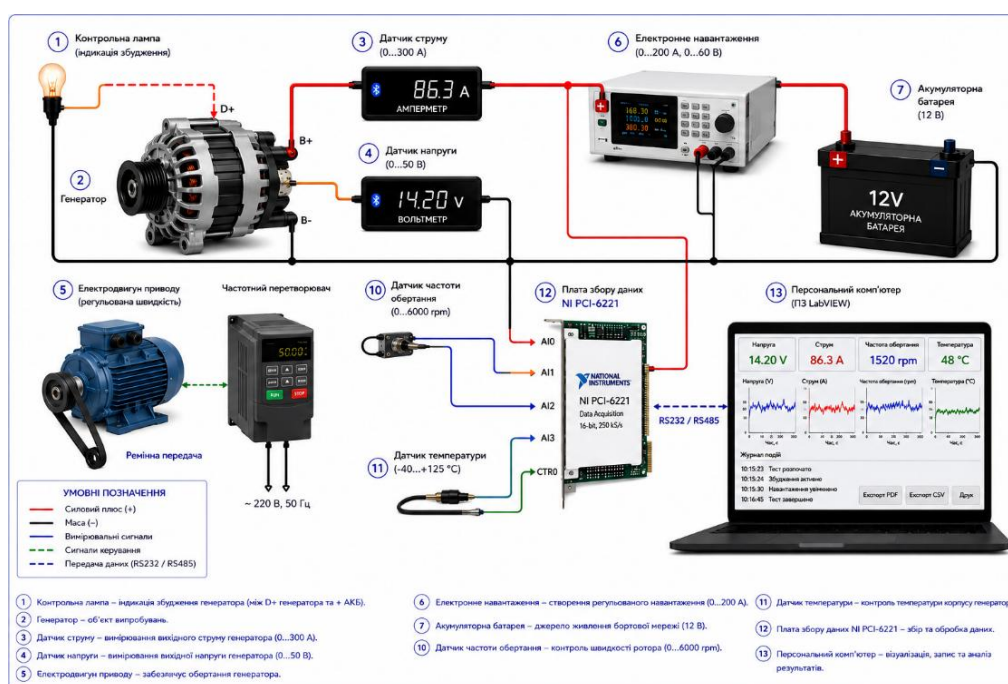


Рисунок 3.6 – Схема з'єднань для перевірки генератора на стенді

Після встановлення генератора на стенд необхідно виконати його підключення відповідно до схеми з'єднань. Далі вмикають привідний електродвигун стенда та за допомогою навантажувального пристрою встановлюють вихідну напругу генератора на необхідному рівні. Частоту обертання ротора поступово збільшують до 5000 об/хв і витримують генератор у такому режимі не менше 10 хвилин. Після стабілізації температурного режиму визначають величину струму віддачі генератора. Для справного генератора значення вихідного струму повинно становити не менше 55 А.

Якщо вимірний струм виявиться меншим за нормативне значення, це може свідчити про наявність несправностей в обмотках статора або ротора, а також про пошкодження елементів випрямного блока. У такому випадку необхідно провести додаткову перевірку обмоток та діодів для локалізації несправності.

Перевірку регулятора напруги виконують при частоті обертання ротора 5000 об/хв. Навантаженням встановлюють струм віддачі генератора на рівні 15 А та вимірюють вихідну напругу. За температури навколишнього середовища і генератора $(25 \pm 10) ^\circ\text{C}$ напруга повинна перебувати в межах $(14,1 \pm 0,5) \text{ В}$.

Якщо отримане значення виходить за встановлені межі, регулятор напруги замінюють на завідомо справний і повторюють перевірку. У разі відновлення нормального значення напруги роблять висновок про несправність регулятора. Якщо ж після заміни регулятора напруга залишається поза допустимими межами, необхідно перевірити стан обмоток генератора та елементів випрямного блока.

Для більш детальної діагностики генератора використовується електронний осцилограф. Аналіз форми випрямленої напруги дозволяє швидко та з високою точністю оцінити технічний стан генератора і визначити характер можливих несправностей.

Для проведення перевірки збирають схему відповідно до рисунка. Після цього від'єднують провід загального виводу трьох додаткових діодів від клеми регулятора напруги та забезпечують його надійну ізоляцію від корпусу генератора. До відповідної клеми регулятора напруги підключають акумуляторну батарею через контрольну лампу. У такому режимі обмотка збудження отримує живлення безпосередньо від акумуляторної батареї.

Далі вмикають привідний електродвигун стенда та встановлюють частоту обертання ротора в межах 1500–2000 об/хв. Після цього акумуляторну батарею відключають від силового виводу генератора, а навантажувальним пристроєм встановлюють струм віддачі 10 А.

Осцилограф підключають до силового виводу генератора та аналізують форму випрямленої напруги. За справного стану обмоток статора і випрямного блока осцилограма має правильну пилкоподібну форму з рівномірними пульсаціями. Наявність обриву в обмотці статора, короткого замикання або пробоя діодів випрямного блока призводить до суттєвого спотворення форми сигналу, появи нерівномірних пульсацій і характерних провалів напруги.

Після перевірки осцилограми на силовому виводі генератора виконують контроль сигналу на виводі додаткових діодів, які забезпечують живлення обмотки збудження під час роботи генератора. Форма напруги в цій точці також повинна мати правильний пилкоподібний вигляд. Відхилення форми сигналу від нормальної свідчить про несправність одного або декількох додаткових діодів випрямного блока та потребує їх подальшої перевірки або заміни. Форма кривої випрямленої напруги генератора показана на рисунку 3.7

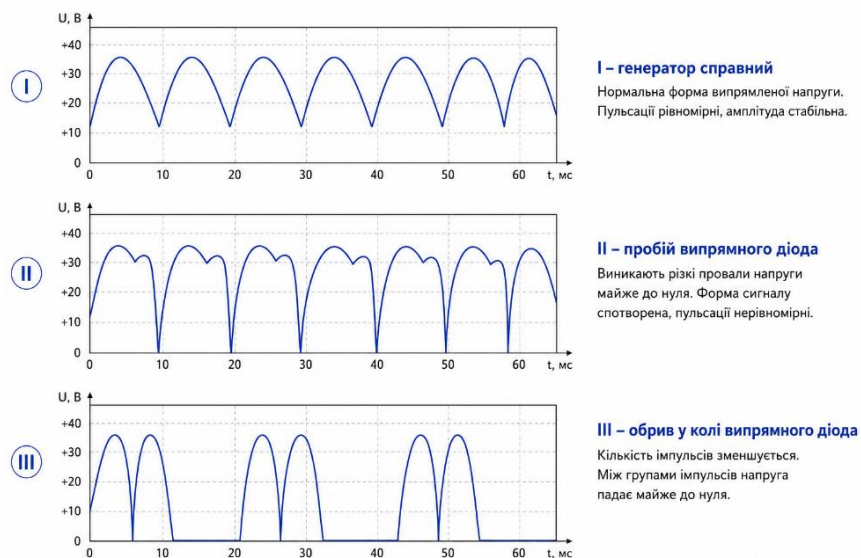


Рисунок 3.7 – Форми кривої випрямленої напруги генератора: 1 – генератор справний; 2 – вентиль пробитий; 3 – обрив кола вентильного діода

Перевірку обмотки збудження ротора можна виконувати без демонтажу генератора з автомобіля. Для цього достатньо зняти захисний кожух та регулятор напруги разом зі щіткотримачем. Після очищення контактних кілець від забруднень та окиснення за допомогою дрібнозернистої шліфувальної шкурки проводять перевірку обмотки омметром або контрольною лампою. Під час перевірки визначають наявність обриву в обмотці збудження та відсутність замикання її на корпус генератора.

Перевірку статора виконують після розбирання генератора та від'єднання виводів обмоток від випрямного блока. Спочатку за допомогою омметра або контрольної лампи перевіряють цілісність фазних обмоток та відсутність замикання їх на корпус. Особливу увагу приділяють стану ізоляції провідників. Наявність слідів перегріву, потемніння або пошкодження ізоляції свідчить про можливе коротке замикання в обмотках або несправність випрямного блока. У разі виявлення таких дефектів статор підлягає заміні або ремонту.

Для більш точної діагностики додатково проводять перевірку обмоток на міжвиткові замикання за допомогою спеціального дефектоскопа або відповідного вимірювального обладнання.

Конденсатор, встановлений у генераторі, призначений для зменшення рівня електромагнітних завад та захисту електронного обладнання автомобіля

від імпульсних перенапруг. Погіршення його технічного стану або послаблення контакту з корпусом генератора зазвичай проявляється збільшенням радіоперешкод під час роботи двигуна.

Попередню оцінку справності конденсатора виконують за допомогою мегомметра або мультиметра в режимі вимірювання великих опорів. При підключенні вимірювального приладу стрілка повинна короткочасно відхилитися в бік малого опору, а потім поступово повернутися до початкового положення, що свідчить про процес заряджання конденсатора. Відсутність такої реакції може вказувати на обрив або внутрішнє пошкодження елемента.

Ємність справного конденсатора повинна становити приблизно 2,2 мкФ з допустимим відхиленням $\pm 20\%$.

Випрямний блок генератора складається з напівпровідникових діодів, призначених для перетворення змінного струму статора на постійний струм бортової мережі автомобіля. Справний діод проводить струм лише в одному напрямку. У разі несправності можливі два варіанти відмови: обрив діода, коли струм не проходить взагалі, або пробій, коли струм проходить в обох напрямках.

При виявленні несправного вентиля зазвичай замінюють увесь випрямний блок. Перевірку на коротке замикання можна виконувати без демонтажу генератора, попередньо від'єднавши акумуляторну батарею, зовнішні проводи та знявши захисний кожух. Також необхідно від'єднати провід від виводу регулятора напруги. У генераторах зі старими типами регуляторів додатково від'єднують вивід «Б» від клеми «30».

Для перевірки використовують контрольну лампу потужністю 1...5 Вт та акумуляторну батарею. Конструктивно три позитивні діоди запресовані в пластину, з'єднану з виводом «30» генератора, тоді як три негативні діоди встановлені в пластині, з'єднаній з корпусом генератора (рис. 3.8).

Спочатку перевіряють відсутність одночасного короткого замикання позитивних і негативних діодів. Для цього позитивний полюс акумулятора через контрольну лампу підключають до виводу «30» генератора, а

негативний – до його корпусу. Світіння лампи свідчить про наявність короткого замикання у випрямному блоці.

Перевірка негативних діодів здійснюється шляхом підключення позитивного полюса акумулятора через лампу до одного з болтів кріплення випрямного блока, а негативного полюса – до корпусу генератора. Якщо лампа загоряється, це вказує на пробій одного або декількох негативних діодів. Аналогічно перевіряють позитивні діоди: позитивний полюс батареї через лампу підключають до виводу «30», а негативний – до одного з болтів кріплення випрямного блока. Світіння лампи свідчить про несправність позитивних діодів.

Обрив діодів без розбирання генератора можна виявити під час випробувань на стенді або за допомогою осцилографа. Ознакою такої несправності є зниження вихідного струму генератора на 20...30 % від номінального значення. Якщо обмотки статора і ротора, додаткові діоди та регулятор напруги перебувають у справному стані, а коротких замикань у випрямному блоці не виявлено, причиною зменшення струму найчастіше є обрив одного з випрямних діодів.

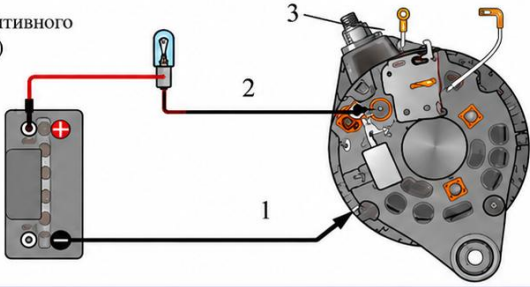
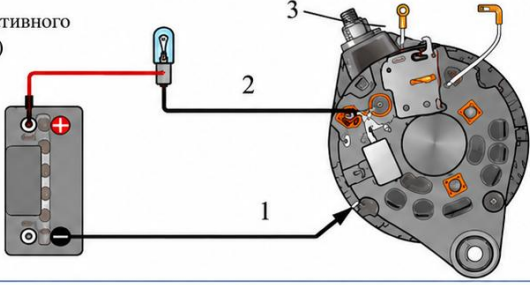
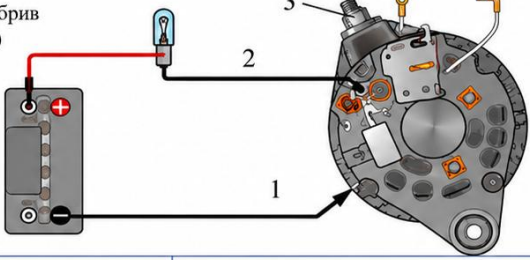
I Перевірка позитивного вентилля (діода) 	Нормальний вентиль (діод) При підключенні плюса до виводу вентилля (2), а мінуса до маси (1) контрольна лампа світиться. Несправний вентиль (діод) Лампа не світиться.
II Перевірка негативного вентилля (діода) 	Нормальний вентиль (діод) При підключенні плюса до маси (1), а мінуса до виводу вентилля (2) контрольна лампа світиться. Несправний вентиль (діод) Лампа не світиться.
III Перевірка на обрив вентилля (діода) 	Нормальний вентиль (діод) При підключенні плюса до виводу В+ (3), а мінуса до маси (1) контрольна лампа не світиться. Несправний вентиль (діод) Лампа світиться (є коротке замикання).
1 – Маса (корпус генератора) 2 – Вивід перевірюваного вентилля (діода) 3 – Вивід В+ (плюсовий вихід генератора)	Акумуляторна батарея Контрольна лампа Плюсовий провід (+) Мінусовий провід (–)

Рисунок 3.8 – Схеми для перевірки вентилів

Перевірку додаткових діодів генератора на наявність короткого замикання можна виконати без демонтажу та розбирання агрегату. Для цього використовують схему перевірки, наведену на відповідному рисунку. Перед початком вимірювань необхідно від'єднати генератор від акумуляторної батареї, зняти захисний кожух та від'єднати провід від виводу «В» регулятора напруги.

Для перевірки позитивний полюс акумуляторної батареї через контрольну лампу потужністю 1...3 Вт підключають до виводу генератора, а негативний полюс з'єднують з одним із болтів кріплення випрямного блока. Якщо під час перевірки контрольна лампа загоряється, це свідчить про наявність короткого замикання в одному або декількох додаткових діодах.

Локалізувати несправний діод безпосередньо на генераторі неможливо. Для точного визначення пошкодженого елемента необхідно демонтувати

випрямний блок і виконати перевірку кожного діода окремо за допомогою омметра або мультиметра в режимі перевірки напівпровідникових переходів.

Обрив додаткових діодів визначають за допомогою осцилографа або під час контролю вихідної напруги генератора. Несправність проявляється спотворенням форми випрямленої напруги на виводі «61», а також зниженням напруги збудження нижче нормативного значення. За середньої частоти обертання ротора справного генератора напруга на виводі «61» повинна перевищувати 14 В. Якщо виміряне значення є меншим, це може свідчити про обрив одного або кількох додаткових діодів та необхідність подальшої діагностики випрямного блока.

Таким чином, перевірка додаткових діодів дозволяє оцінити справність кола живлення обмотки збудження генератора та своєчасно виявити несправності, які можуть призвести до зниження вихідної напруги або порушення роботи генераторної установки в цілому.

Регулятор напруги призначений для автоматичного підтримання стабільної напруги в бортовій мережі автомобіля незалежно від режиму роботи генератора. Його функція полягає у безперервному регулюванні струму збудження ротора таким чином, щоб вихідна напруга генератора залишалася в заданих межах при зміні частоти обертання ротора та величини навантаження. Завдяки цьому забезпечується нормальна робота електрообладнання автомобіля та підтримується оптимальний режим заряджання акумуляторної батареї.

Для виконання перевірки необхідно використовувати вольтметр постійного струму зі шкалою вимірювання до 15...30 В та класом точності не нижче 1,0.

Перед початком вимірювань двигун автомобіля повинен працювати протягом приблизно 15 хвилин на середніх обертах із увімкненими фарами ближнього світла. Після стабілізації температурного режиму вимірюють напругу між виводом «30» генератора та корпусом автомобіля. Для справного регулятора напруги отримане значення повинно знаходитися в межах від 13,6 до 14,6 В.

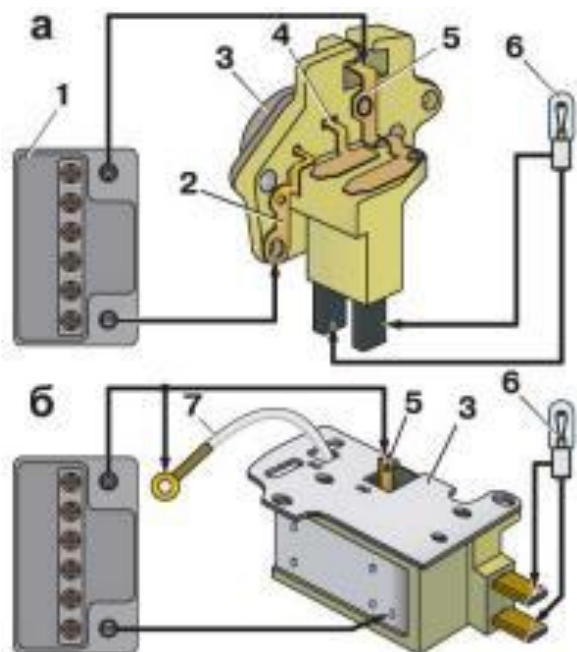


Рисунок 3.5 – Схеми перевірки регулятора напруги посилення

Якщо під час експлуатації спостерігається систематичний недозаряд або перезаряд акумуляторної батареї, а виміряна напруга виходить за встановлені межі, це свідчить про несправність регулятора напруги. У такому випадку регулятор підлягає заміні або додатковій перевірці на спеціалізованому стенді.

Для більш детальної діагностики регулятор напруги знімають з генератора та перевіряють за допомогою спеціальної схеми випробувань. Регулятори напруги старих конструкцій, що використовувалися до 1996 року, доцільно перевіряти разом зі щіткотримачем. Такий підхід дозволяє одночасно оцінити технічний стан самого регулятора, перевірити справність щіткового вузла та виявити можливі порушення електричного контакту між регулятором напруги і щіткотримачем.

Під час перевірки контролюють напругу спрацювання регулятора, а також правильність його реакції на зміну напруги живлення. Справний регулятор повинен забезпечувати своєчасне обмеження струму збудження при досягненні заданого рівня напруги та відновлювати живлення обмотки збудження при її зниженні. Відхилення параметрів від установлених норм свідчить про несправність електронної схеми регулятора або його контактних елементів.

Таким чином, перевірка регулятора напруги дозволяє оцінити його здатність підтримувати стабільний режим роботи генератора та забезпечувати необхідний рівень напруги в бортовій мережі автомобіля за різних умов експлуатації.

3.3 Діагностика стартера легкового автомобіля

Для об'єктивної оцінки технічного стану та ефективності роботи стартера доцільно проводити його випробування на діагностичному стенді.

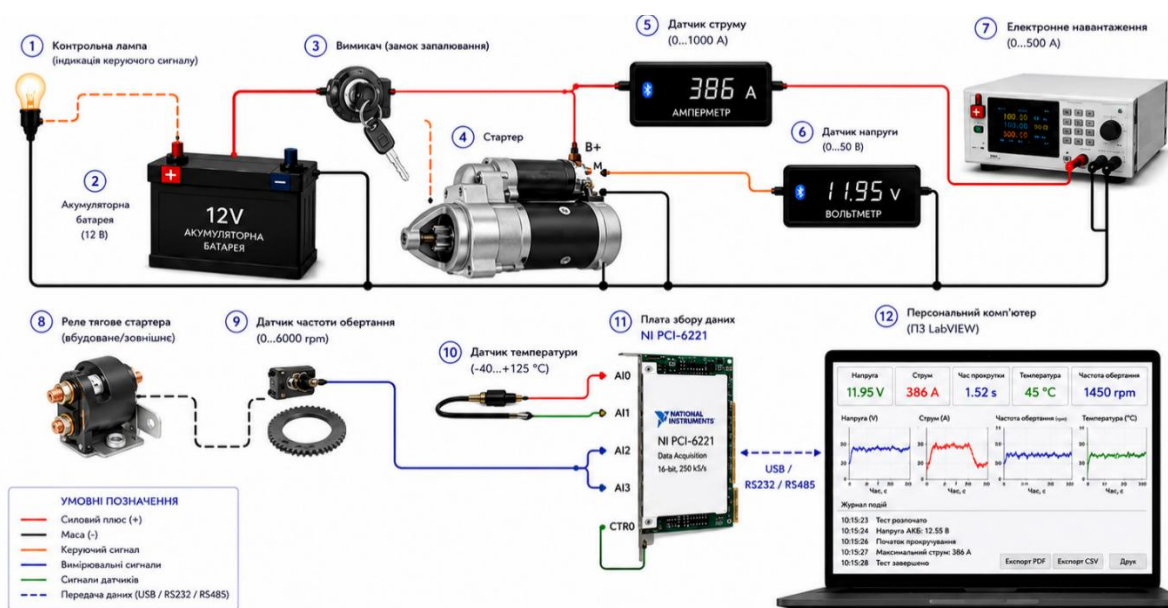


Рисунок 3.7 – Схема з'єднань для перевірки стартера на стенді послання

Для проведення випробувань стартера на стенді необхідно використовувати з'єднувальні проводи до джерела живлення, амперметра та контактного болта тягового реле з площею поперечного перерізу не менше 16 мм². Перед початком перевірки температура стартера повинна становити $(25 \pm 5) ^\circ\text{C}$, а щітки мають бути добре припрацьовані до поверхні колектора.

Оцінювання працездатності стартера виконують шляхом його короточасного вмикання при напрузі живлення 12 В за різних значень навантаження. Під час випробувань стартер послідовно запускають при декількох значеннях гальмівного моменту, наприклад 2, 6 та 10 Н·м.

Тривалість кожного ввімкнення не повинна перевищувати 5 с, а інтервал між послідовними випробуваннями має становити не менше 5 с для запобігання перегріванню обмоток.

Якщо під час роботи стартер не забезпечує обертання навантажувального механізму стенда або його робота супроводжується сторонніми шумами, вібраціями чи нерівномірним обертанням, необхідно виконати розбирання агрегату та перевірити стан його вузлів і деталей.

Для проведення випробування зубчастий вінець стенда повністю загальмовують, після чого вмикають стартер і вимірюють струм споживання, напругу живлення та створюваний гальмівний момент. Для справного стартера струм не повинен перевищувати 550 А, напруга на затискачах має бути не нижчою за 7,5 В, а гальмівний момент – не меншим за 13,7 Н·м. Тривалість випробування також обмежується 5 секундами.

Зменшення гальмівного моменту при одночасному збільшенні споживаного струму свідчить про можливе міжвиткове замикання в обмотках статора або якоря, а також про замикання обмоток на корпус. Якщо ж і струм, і гальмівний момент є нижчими від нормативних значень, причиною можуть бути забруднення або окиснення колектора, значне зношування щіток, ослаблення притискних пружин, порушення контакту в електричних з'єднаннях або підгоряння контактних поверхонь.

Під час випробування в режимі повного гальмування вал якоря не повинен обертатися. Його прокручування вказує на несправність муфти вільного ходу приводу стартера. У разі виявлення будь-яких відхилень стартер необхідно розібрати та виконати ремонт або заміну несправних деталей.

Під час випробування на холостому ходу зубчастий вінець стенда виводять із зачеплення із шестернею приводу стартера. Після ввімкнення стартера вимірюють споживаний струм та частоту обертання якоря. За напруги живлення 11,5–12 В струм холостого ходу не повинен перевищувати 60 А, а частота обертання якоря повинна перебувати в межах (5000 ± 1000) об/хв.

Відхилення цих параметрів від нормативних значень може бути спричинене несправностями, аналогічними тим, що виявляються під час випробування в режимі повного гальмування, зокрема дефектами обмоток, колектора, щіткового вузла або контактних з'єднань.

Справність тягового реле перевіряють шляхом встановлення між обмежувальним кільцем та шестернею спеціальної прокладки товщиною 12,8 мм. Після цього подають напругу на обмотку реле та визначають напругу його спрацьовування. За температури навколишнього середовища $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ напруга вмикання реле не повинна перевищувати 9 В. Перевищення цього значення свідчить про несправність самого реле або механізму приводу.

Для контролю працездатності реле ввімкнення визначають напругу його спрацьовування. За температури навколишнього середовища $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ вона повинна бути не більшою за 8 В. Якщо реле спрацьовує при вищій напрузі, це свідчить про його несправність або наявність дефектів у механізмі приводу стартера.

Таким чином, комплекс стендових випробувань дозволяє оцінити технічний стан стартера, тягового реле та допоміжних вузлів, своєчасно виявити приховані дефекти та визначити необхідність проведення ремонтних робіт.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Особливості заходів безпеки під час роботи зі стендом для діагностики стартерів і генераторів

Охорона праці є системою правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності людини в процесі трудової діяльності. В умовах сучасного розвитку техніки та широкого застосування електрообладнання особливого значення набуває забезпечення безпечних умов праці під час експлуатації випробувальних і діагностичних стендів [10].

Під час роботи зі стендом для діагностики стартерів і генераторів працівник має справу з електричними колами підвищеного струму, рухомими механічними вузлами та обертовими деталями. Тому основним завданням є мінімізація ризику ураження електричним струмом, механічних травм і пошкодження обладнання.

До роботи зі стендом допускаються особи віком не менше 18 років, які пройшли відповідне навчання, інструктаж з охорони праці, ознайомлені з правилами експлуатації обладнання та мають групу допуску з електробезпеки не нижче II. Працівник повинен знати порядок підготовки стенда до роботи, правила підключення випробовуваних агрегатів та дії у разі виникнення аварійної ситуації.

Перед початком роботи необхідно перевірити справність електричних кабелів, захисного заземлення, комутаційної апаратури та вимірювальних приладів. Забороняється використовувати стенд за наявності пошкоджень ізоляції проводів, несправних розеток, вимикачів або засобів захисту. Особливу увагу слід приділяти надійності кріплення генератора або стартера на стенді, а також правильності натягування приводного ремня.

Під час проведення випробувань необхідно уникати контакту з обертовими частинами приводу, шківками та ремінними передачами.

Забороняється виконувати регулювання або заміну елементів конструкції під час роботи електродвигуна. Усі захисні кожухи та огородження повинні бути встановлені на штатних місцях.

Оскільки при перевірці стартерів можливі струми в декілька сотень ампер, особливу небезпеку становлять короткі замикання. Для їх запобігання необхідно використовувати проводи відповідного перерізу, справні клемні з'єднання та запобіжники. Підключення і відключення акумуляторних батарей слід виконувати лише при вимкненому живленні стенда.

Під час випробування генераторів і стартерів можливе нагрівання окремих вузлів, тому після завершення перевірки необхідно дати обладнанню охолонути перед виконанням демонтажу агрегату. Робоче місце повинно підтримуватися в чистоті, без сторонніх предметів, які можуть потрапити в рухомі частини стенда.

У разі виникнення несправності, появи стороннього шуму, запаху перегрітої ізоляції або іскріння необхідно негайно припинити випробування, відключити стенд від мережі живлення та повідомити відповідальну особу. Самостійне усунення несправностей під напругою забороняється.

Дотримання зазначених вимог забезпечує безпечну експлуатацію стенда для діагностики стартерів і генераторів, знижує ймовірність виробничого травматизму та сприяє підвищенню надійності роботи обладнання.

4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при роботі зі стендом для діагностики стартерів і генераторів

Під час експлуатації стенда для діагностики стартерів і генераторів на обслуговуючий персонал можуть впливати різні небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Їх виникнення пов'язане з використанням електричної енергії, наявністю рухомих механічних елементів, значними струмами навантаження та застосуванням акумуляторних батарей.

Одним із найнебезпечніших факторів є можливість ураження електричним струмом. Стенд працює від електричної мережі та містить кола

живлення напругою 12 В, 24 В і, залежно від конструкції, 220 або 380 В. Пошкодження ізоляції проводів, несправність електричних з'єднань або порушення правил експлуатації можуть призвести до контакту працівника зі струмопровідними частинами обладнання.

Під час роботи стенда небезпеку становлять також рухомі та обертові елементи конструкції. До них належать приводний двигун, ремінна передача, шків та ротори випробовуваних агрегатів. Потрапляння одягу, волосся або частин тіла до зони обертання може спричинити травмування працівника та пошкодження обладнання.

Значні струми, що виникають під час перевірки стартерів, можуть призводити до сильного нагрівання контактів, провідників і комутаційних елементів. У разі недостатньої якості контактних з'єднань або виникнення короткого замикання можливе утворення електричної дуги, яка становить небезпеку для персоналу та може стати причиною займання ізоляційних матеріалів.

У процесі випробувань окремі вузли стенда та перевірюваних агрегатів нагріваються до підвищених температур. Найбільшому нагріванню піддаються навантажувальні резистори, силові провідники, електродвигун приводу та корпуси генераторів і стартерів. Дотик до таких поверхонь може спричинити термічні опіки.

Ще одним шкідливим фактором є виробничий шум, який створюється електродвигуном, вентиляторами охолодження, ремінними передачами та випробовуваними агрегатами. Тривалий вплив шуму негативно впливає на працездатність людини, викликає швидку втому та знижує концентрацію уваги оператора.

Під час роботи зі стартерами використовуються акумуляторні батареї великої ємності, які також становлять потенційну небезпеку. У процесі заряджання та розряджання можливе виділення водню, що утворює з повітрям вибухонебезпечну суміш. Крім того, електроліт акумуляторів є хімічно активною речовиною і при потраплянні на шкіру або в очі може викликати опіки.

Небезпека виникає також під час монтажу та демонтажу генераторів і стартерів. Через значну масу агрегатів можливі забої, травмування рук або пошкодження обладнання внаслідок його падіння. Особливої уваги потребує надійне закріплення агрегатів на стенді перед початком випробувань.

Таким чином, основними небезпечними та шкідливими факторами при роботі зі стендом для діагностики стартерів і генераторів є електричний струм, рухомі механічні елементи, підвищена температура поверхонь, значні струми навантаження, виробничий шум, використання акумуляторних батарей та можливість механічного травмування під час монтажних робіт. Для забезпечення безпечних умов праці необхідно застосовувати захисне заземлення, огороження рухомих частин, справні засоби вимірювання і комутації, а також дотримуватися вимог нормативних документів з охорони праці та електробезпеки.

4.3 Заходи забезпечення сприятливих (безпечних) умов праці

Забезпечення безпечних умов праці під час експлуатації стенда для діагностики стартерів і генераторів є важливою складовою організації робочого процесу. Комплекс заходів з охорони праці повинен бути спрямований на усунення або зниження впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що виникають під час проведення діагностичних та випробувальних робіт.

Одним із головних заходів є забезпечення електробезпеки. Усі металеві неструмоведучі частини стенда повинні бути надійно заземлені відповідно до вимог чинних нормативних документів. Електричні кола необхідно захищати автоматичними вимикачами та запобіжниками, які запобігають виникненню аварійних режимів роботи при перевантаженнях або коротких замиканнях. Проводи живлення повинні мати справну ізоляцію, а місця електричних з'єднань мають бути захищені від випадкового дотику.

Для захисту працівника від травмування рухомими частинами приводу стенда всі ремінні передачі, шківни та інші обертові елементи необхідно

закривати захисними кожухами. Конструкція стенда повинна виключати можливість випадкового контакту оператора з рухомими деталями під час роботи обладнання. Встановлення та демонтаж генераторів і стартерів дозволяється виконувати лише після повної зупинки привідного електродвигуна та відключення живлення.

Для зменшення ризику виникнення пожежі необхідно підтримувати справний стан електрообладнання, не допускати перегрівання силових провідників і навантажувальних елементів. Робоче місце повинно бути оснащено первинними засобами пожежогасіння, зокрема вуглекислотним або порошковим вогнегасником. Забороняється зберігати легкозаймисті матеріали поблизу випробувального стенда.

Особливу увагу слід приділяти безпечній роботі з акумуляторними батареями. Приміщення повинно бути обладнане ефективною вентиляцією для видалення водню, що може виділятися під час заряджання або розряджання акумуляторів. При обслуговуванні акумуляторних батарей необхідно використовувати захисні окуляри та рукавички для запобігання контакту з електролітом.

Важливим фактором забезпечення сприятливих умов праці є належне освітлення робочого місця. Освітленість повинна відповідати вимогам чинних будівельних норм та забезпечувати чітке розрізнення елементів конструкції стенда, вимірювальних приладів і з'єднувальних проводів. Рекомендована освітленість робочої зони становить не менше 300...500 лк.

Для зниження рівня шуму доцільно використовувати справні підшипники, балансовані обертові вузли та гумові віброгасильні опори для встановлення привідного електродвигуна. За необхідності працівник може використовувати індивідуальні засоби захисту органів слуху.

Робоче місце повинно підтримуватися в чистоті та порядку. Інструменти, проводи та допоміжне обладнання необхідно розміщувати таким чином, щоб вони не створювали перешкод для роботи та не становили небезпеки спотикання. У проходах і біля стенда не допускається накопичення сторонніх предметів.

До роботи зі стендом допускаються лише особи, які пройшли відповідне навчання, інструктаж з охорони праці та ознайомлені з правилами експлуатації обладнання. Персонал повинен знати порядок дій у разі аварійної ситуації, ураження електричним струмом або виникнення пожежі.

Виконання зазначених заходів забезпечує безпечну експлуатацію стенда для діагностики стартерів і генераторів, знижує ризик виробничого травматизму та сприяє створенню комфортних умов праці для обслуговуючого персоналу.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи досягнуто поставленої мети – розроблено стенд для діагностики автомобільних генераторів та стартерів, що забезпечує автоматизований контроль їх основних електричних і механічних параметрів.

Проведено аналіз конструкції, принципів роботи та технічних характеристик генераторів і стартерів, а також досліджено сучасні методи та засоби їх діагностування. Виконаний огляд існуючих випробувальних стендів дозволив визначити вимоги до розроблюваної системи.

Розроблено структурну схему стенда та визначено склад його основних функціональних вузлів. Обґрунтовано вибір плати збору даних NI PCI-6221, яка забезпечує необхідну точність вимірювань, швидкодію та можливість одночасного контролю декількох параметрів.

Створено систему збору, обробки та відображення діагностичної інформації, що дозволяє здійснювати контроль напруги, струму та частоти обертання в режимі реального часу з подальшим збереженням результатів випробувань.

Розроблено алгоритм функціонування стенда та методику діагностики генераторів і стартерів, яка забезпечує визначення їх технічного стану та виявлення основних несправностей за результатами стендових випробувань.

Також розглянуто питання охорони праці та безпеки під час експлуатації стенда, проаналізовано небезпечні фактори та запропоновано заходи щодо забезпечення безпечних умов роботи.

Результати роботи можуть бути використані на станціях технічного обслуговування, у ремонтних підприємствах та навчальних лабораторіях для підвищення ефективності діагностування автомобільних генераторів і стартерів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й., Огневий В. О. Математична модель визначення технічного стану автомобільних генераторних установок. Наукові праці ВНТУ. Електрон. текст. дані. 2024. № 3. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/749>.
2. Для чого призначений і з чого складається трифазний випрямляч генератора URL: <https://studfile.net/preview/10075569/page:3/> (дата звернення: 11.04.2026 р.).
3. Регулятор напруги 1702.3702-01 URL: <https://www.vtnauto.com/ua/1702> (дата звернення: 11.04.2026 р.).
4. Стартер URL: <https://starterok.com.ua/articles/starter.php> (дата звернення: 11.04.2026 р.).
5. Конструкція стартера з планетарним редуктором і збудженням від постійних магнітів URL: <https://studfile.net/preview/9726062/page:27/> (дата звернення: 11.04.2026 р.).
6. Ruzaimy A. Alternator Test Bench. Polytechnic Sultan Abdul Halim Mu'adzam Shah Repository, 2023.
7. Multifunction Data Acquisition Board (DSUB) URL: https://www.artisanng.com/info/National_Instruments_PCI_6221_Datasheet_201722492431.pdf (дата звернення: 20.04.2026 р.).
8. LabVIEW – універсальна платформа для проєктування систем URL: <https://ua.linkedin.com/pulse/labview-versatile-system-design-platform-dr-vaniprabha-a-a4pcc?tl=uk> (дата звернення: 20.04.2026 р.).
9. Технічні та електричні характеристики генераторів URL: <https://studfile.net/preview/9811375/page:19/> (дата звернення: 28.04.2026 р.).
10. Правові основи охорони праці URL: <https://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/19740/1/%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B2%D0%B8%20%D0%BE%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8%20%D0%.pdf> (дата звернення: 15.05.2026 р.).