

**ДОДАТОК А**  
**Апробація результатів наукових досліджень**

# Способи удосконалення частотного перетворювача напруги для блоку управління електричним транспортним засобом

Михайло Ковальов<sup>1</sup>, Іванов Леонід<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,  
Харків, пр. Науки, 14., email: mykhailo.kovalov@nure.ua  
Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,  
Харків, пр. Науки, 14., email: Leonid.ivanov@nure.ua

**Анотація:** дослідження присвячене проблемі удосконалення частотного перетворювача напруги в блоках управління електричними транспортними засобами. Розглянуто основні аспекти частотних перетворювачів, вимоги до них у контексті електричних транспортних засобів та можливі шляхи їх удосконалення, такі як використання сучасних напівпровідникових матеріалів, розробка оптимальних алгоритмів керування та використання технологій широкого діапазону частот.

**Ключові слова:** удосконалення, ефективність, надійність, напівпровідникові матеріали, вимоги до частотних перетворювачів напруги.

## Вступ

Електромобільна революція, яка почалася в останні два десятиліття, визначає новий вимір сучасної автомобільної індустрії. Перехід від традиційних запальних двигунів до електричних транспортних засобів змінить спосіб, яким ми переміщуємося, зменшить забруднення повітря та залучить нові технології до автомобільного виробництва. Однак успішне розповсюдження електричних автомобілів не обмежується лише розвитком літій-іонних акумуляторів та створенням дружніх до довкілля електродвигунів. Ключовою частиною їхньої інфраструктури та роботи є частотний перетворювач напруги (рис. 1), що відповідає за перетворення постійної напруги акумуляторної батареї в змінну напругу, яка живить електродвигун. [1]



Рисунок 1. Зовнішній вигляд перетворювача напруги автомобільного з 24В у 12В (інвертор-конвертор UKC DC / DC 24v-12v 20A UKC)

На рисунку 1 наведений перетворювач напруги з 24 вольт на 12 вольт UKC на 20 ампер. Призначений

для інвертування напруги бортової мережі 24 вольт навантажених автомобілів DAF, автобусів, КамАЗів та інших транспортних засобів у 12 вольт. Перетворювач розрахований на навантаження 20 ампер, чого достатньо для підключення більшості автомобільних електроприладів. Інвертор має компактні розміри, виконаний в міцному металевому корпусі, забезпечений пасивним охолодженням - алюмінієвим радіатором.

Основні характеристики перетворювача напруги 24-12 UKC 20A: [1]

Вхідна напруга: DC 20-30V;

Напруга на виході: DC 12V;

Потужність: 180W;

Максимальна сила струму: 20A;

Максимальна температура роботи: 80C;

Статичний робочий струм: <50mA;

Розміри: 120 x 110 x 42 мм.

У цьому високотехнологічному та динамічному середовищі роботи електромобілів удосконалення частотного перетворювача напруги виявляється на передньому краї зусиль інженерів і вчених. Від правильної роботи цього ключового компоненту залежить продуктивність, надійність та інтеграція електричних транспортних засобів у сучасне суспільство. Це завдання стає надзвичайно важливим у контексті поступового переходу до сталого споживання енергії та зменшення викидів вуглецю в атмосферу.

Правильність підбору перетворювачів напруги залежить від таких параметрів:

- Потужність.

Важливо, щоб потужність перетворювача напруги була в 2 рази більшою за номінальну потужність приладів: 150 В, 350 В, 800 В, 2000 В;

- Форма сигналу на виході.

Модифікована синусоїда (дозволяє підключити майже всі побутові пристрої) та чиста синусоїда (до неї підключають обладнання, яке чутливе до форми сигналу на виході).

- Тип підключення.

Підключення до прикурювача (при невисокому навантаженні); до клем АКБ (напруга в бортовій мережі автомобіля залежить від заряду акумуляторної батареї).

- Наявність функції стабілізації напруги.

Різке коливання напруги спричиняє поломку приладів; побутове обладнання витримує коливання від 180 В до 240 В. Виробники в інструкції вказують

пікову потужність пристрою, тобто максимальне короткочасне навантаження, яке може витримати прилад: середній показник потужності побутових приладів: ноутбук – 250 В, електроплита – 1500 В, електродриль – 1000 В.

Щоб дізнатися номінальну потужність приладу, потрібно пікове навантаження поділити на 2.

– Режим роботи перетворювача напруги.

Режим тривалої роботи: ідентичний номінальній потужності.

Перезавантаження: потужність інвертора протягом перших 30 хв в півтора рази більша від номінальної.

Пусковий режим: моментальна потужність в два рази більша від номінальної.

У цьому дослідженні планується детально розглянути можливості використання сучасних технологій для частотних перетворювачів напруги у системах керування електричними транспортними засобами та проаналізувати можливі шляхи їхнього удосконалення. Після цього буде зроблено вибір способу удосконалення частотного перетворювача, який використовується для блоку управління електротранспортом. Будуть розглянуті ключові аспекти, такі як технологія модуляції ширини імпульсів, потужність та продуктивність, гармонічні спотворення та електромагнітна сумісність, температурна стійкість та знос компонентів, системи керування і діагностики та можливості скасування завад при їх використанні. Далі буде детальніше розглянуто технологічні концепції для досягнення цієї мети, зокрема використання багаторівневих інверторів, передових алгоритмів модуляції, нових матеріалів і компонентів, а також оптимізацію використання систем керування.

Завдяки цьому високоякісному підходу до удосконалення експлуатаційних показників частотного перетворювача напруги блоку управління можна розраховувати на збільшення ефективності роботи електричних транспортних засобів та покращення їх інтеграції в сучасне автомобільне виробництво. Це, в свою чергу, сприятиме зростанню популярності, підвищенню безпеки та строків їх експлуатації, а також поширенню електромобілів, що відіграє важливу роль у здійсненні переходу до сталого майбутнього та зменненні впливу на навколишнє середовище.

## II. Аналіз поточного стану

Аналіз поточного стану застосування частотного перетворювача напруги в блоках управління електричними транспортними засобами є важливою передумовою для розробки та впровадження способів удосконалення їх роботи.

Розглянемо можливі способи удосконалення ефективності застосування частотного перетворювача напруги: [2-3]

1. Розширення модуляції ширини імпульсів (PWM). На сьогоднішній день більшість частотних перетворювачів у електричних транспортних засобах використовують PWM для керування вихідною напругою. Ширини модуляції дозволяє ефективно керувати виходом напруги та регулювати напругу на змінній стороні перетворювача. Однак ця технологія

має свої обмеження, такі як висока гармонічна складова струму та обмежена частота комутації, що може впливати на ефективність та точність управління.

2. Збільшення строків експлуатації акумуляторів електромобіля за рахунок оптимального використання енергії батареї, яку можливо досягнути шляхом зменшення витрат при процесі перетворення напруги. Також, система керування повинна бути здатною до швидкої реакції на зміни навантаження, щоб забезпечити високу продуктивність електродвигуна.

3. Гармонічні спотворення та електромагнітна сумісність струмів та напруг при процесі перетворення. Використання PWM може призводити до гармонічних спотворень у струмі та напрузі, що впливає на якість енергопостачання та може створювати проблеми з електромагнітною сумісністю входу та виходу показників струмів та напруг. Це досягається за рахунок додаткових заходів щодо фільтрації цих показників та зменшення частоти гармонік у системі електропостачання.

4. Температурна стійкість та знос компонентів системи електропостачання. В електричних транспортних засобах, особливо у високопродуктивних моделях, частотний перетворювач працює при високих температурах та навантаженнях. Це може впливати на тривалість служби компонентів, таких як напівпровідникові ключі та конденсатори, і може призводити до їх зносу та відмов.

5. Автоматизована система керування і діагностики електропостачання. Сучасні системи керування та діагностики мають важливе значення для забезпечення стабільності та надійності частотного перетворювача напруги. Моніторинг стану елементів системи електропостачання, виявлення їх несправностей та системи аварійного захисту є важливими функціями, які дозволяють своєчасно уникнути серйозних проблем та забезпечити безпеку в експлуатації електротранспорту.

6. Використання режиму рекуперації системи автоматичного керування роботою частотного перетворювача напруги. В деяких випадках, наприклад, при русі електромобіля по інерції та при гальмуванні (тобто без використання системи електроживлення) застосовується режим рекуперації енергії, частотний перетворювач напруги може бути використаний для відправлення енергії назад до акумуляторної батареї. Це потребує використання додаткових спеціальних функцій від системи автоматизованого керування для захисту та запобігання механічних пошкоджень акумуляторної батареї.

Загальний аналіз поточного стану роботи частотного перетворювача напруги у системах керування електричними транспортними засобами показує, що існують багато можливостей для подальшого його удосконалення, особливо у плані підвищення ефективності, надійності та продуктивності. Розробка нових технологій і методів контролю, а також використання нових матеріалів і

компонентів, може допомогти досягти цих цілей та розв'язати електричну мобільність у майбутньому.

### III. Удосконалення частотного перетворювача напруги

Удосконалення частотного перетворювача напруги є ключовим завданням для покращення продуктивності роботи та ефективності експлуатації електричних транспортних засобів. Далі представлені способи удосконалення, деталізовані аспекти та можливі напрямки удосконалення цього важливого елементу у системах керування електромобілями:

- Використання багаторівневих інверторів.

Один із перших шляхів удосконалення частотного перетворювача полягає у використанні багаторівневих інверторів. Такі інвертори, як Multi-Level Cascaded H-Bridge Inverter, складаються з кількох рівнів напруги, що дозволяє підвищити якість вихідної напруги. Вони знижують гармонічні спотворення струму і напруги та покращують ефективність роботи системи. Додатково, багаторівневі інвертори дозволяють працювати на вищих частотах комутації, що робить їх ідеальними для високородуктивних електромобілів.

- Передові алгоритми модуляції.

Використання передових алгоритмів модуляції, таких як Space Vector Modulation (SVM) та Predictive Control, може значно покращити якість управління частотним перетворювачем напруг. SVM дозволяє керувати напругою та струмом з високою точністю та зменшує гармонічні спотворення. Застосування алгоритмів Predictive Control дозволяє прогнозувати стан системи і оптимально керувати її параметрами, що призводить до економії енергії та покращенню продуктивності.

- Використання нових матеріалів та компонентів.

Розвиток нових матеріалів і компонентів з високою температурною стійкістю та здатністю працювати на високих частотах комутації може значно покращити ефективність та надійність частотного перетворювача. Наприклад, використання силіконових карбідних напівпровідників може допомогти знизити втрати енергії і підвищити робочу температуру. Також, розробка високовольтих та високочастотних компонентів може сприяти зменшенню розмірів та ваги системи.

- Оптимізація системи керування та діагностики.

Удосконалення системи керування та діагностики може покращити ефективність та надійність частотного перетворювача. Важливо мати ефективні механізми моніторингу стану компонентів, виявлення несправностей та аварійних систем захисту. Завдяки цьому можна реагувати на проблеми вчасно і попереджувати серйозні підйоми.

- Впровадження нових топологій і структур:

Розробка та впровадження нових топологій і структур частотних перетворювачів, які краще відповідали вимогам електричних транспортних засобів, може стати важливим кроком у напрямку покращення їх продуктивності та надійності.

Удосконалення частотного перетворювача напруг є невід'ємною частиною розвитку електричних транспортних засобів. Подальший науковий і технічний прогрес у цій галузі допоможе зробити електромобілі більш екологічно безпечними, енергоефективними, доступними за ціною, сприятиме тим самим розширенню їхнього застосування.

### IV. Висновки

У дослідженні цієї теми детально розглянуто проблеми та перспективи удосконалення частотного перетворювача напруги в блоках управління електричними транспортними засобами. Електромобільна індустрія переживає значне зростання та розвиток, і частотний перетворювач визначає ключову роль у цьому процесі, оскільки він відповідає за перетворення енергії батареї в рух автомобіля.

Під час аналізу поточного стану технологій були визначені основні виклики, які стоять перед розробниками та інженерами в цій галузі. Серед них можна виділити низьку ефективність через гармонічні спотворення та високі втрати енергії, обмежену частоту комутації, а також проблеми з тепловим режимом та надійністю компонентів.

За допомогою обговореного аналізу були представлені можливі шляхи удосконалення частотного перетворювача, які можуть значно покращити його продуктивність та ефективність. Використання багаторівневих інверторів, передових алгоритмів модуляції, нових матеріалів і компонентів, а також оптимізація систем керування стають кроком уперед у напрямку забезпечення стабільного та надійного функціонування частотного перетворювача.

Ця робота підкреслює важливість подальших досліджень та розробок у галузі удосконалення частотних перетворювачів, які є необхідними для подальшого розвитку електричних транспортних засобів та їх впровадження у сучасне суспільство. Завдяки цим зусиллям ми можемо сприяти зменшенню впливу автотранспорту на довкілля, забезпечуючи тим самим більш стабільне та екологічно безпечне майбутнє для нашої планети.

### Перелік посилань

- [1] Перетворювач частоти. Advance: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87\\_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8).
- [2] Що таке перетворювач частоти. Advance: [https://elprivod.nmu.org.ua/ua/entrant/frequency\\_converter.php](https://elprivod.nmu.org.ua/ua/entrant/frequency_converter.php).

**ДОДАТОК Б**  
**Демонстраційний матеріал**

