

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Бешти Олександра Олександровича

**«Підвищення навантажувальної здатності в системі асинхронного електропривода транспортного засобу з комбінованим джерелом живлення»,**

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за науковою спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

### **Актуальність досліджень**

Кількість автомобілів у світі постійно збільшується і, відповідно, зростають витрати палива та збільшується забруднення навколишнього середовища. Одним із основних альтернативних варіантів транспортних засобів (ТЗ) на сьогоднішній день розглядається використання електромобілів з тяговим електричним приводом та акумуляторною батареєю (АБ) в якості основного джерела живлення. Головним недоліком такої системи привода є нездатність АБ швидко відновити заряд після певного часу експлуатації ТЗ. Тому проміжним варіантом розвитку тягових систем є гібридний привод з використанням додаткового, меншої потужності, двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ). Іншим напрямом розвитку гібридного привода є використання електропривода з комбінованим джерелом електричної енергії. Додаткове джерело електричної енергії у цьому випадку може використовуватися як для дозарядки АБ, так і для створення додаткового моменту на валу двигуна. Останній варіант є більш доцільним з точки зору зменшення втрат електричної енергії за рахунок того, що електрична енергія від додаткового джерела використовується безпосередньо для створення моменту на валу, а не через додаткові перетворення в акумуляторній батареї. Саме цьому напрямку дослідження присвячено дисертаційну роботу Бешти О. О.

Актуальність виконання такої наукової роботи підтверджено дослідженнями, які проводились протягом 2014-2015 років в лабораторії електротехніки Есс-лінгенського університету прикладних наук (Німеччина). Робота виконувалась, також, у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» в рамках держбюджетних НДР «Удосконалення технологій гібридних і суто електричних транспортних засобів і їх інтеграція в енергетичну мережу» (№ держреєстрації 0117U001126), «Створення методики прогнозування параметрів технічного стану складних електромеханічних систем електричних та гібридних автомобілів» (№ДР 0118U003189).

**Наукова новизна і теоретичне значення роботи** полягає у дослідженні закономірностей впливу параметрів комбінованого джерела живлення з двома

джерелами електричної енергії на режими роботи системи електропривода для підвищення його навантажувальної здатності та енергетичної ефективності .

*Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в наступному.*

1. Вперше запропоновано метод комутації ключів інвертора з використанням нульового стану ключів нижнього плеча інвертора для роботи комбінованого джерела живлення з додатковим електричним джерелом енергії, яке підключене до нульової точки трифазної системи обмоток статора двигуна та «мінусового» терміналу інвертора, що забезпечує підвищення його вихідної напруги і навантажувальної здатності електроприводу.
2. Визначено закономірності впливу параметрів індуктивності і активного опору схеми під'єднання додаткового джерела живлення на режими роботи гібридного джерела живлення тягового асинхронного електроприводу, що дозволяє підвищити його навантажувальну здатність при одночасному зменшенні коливань електромагнітного моменту.
3. Встановлено закономірності коливань напруги живлення електродвигуна від дії запропонованого комбінованого джерела енергії та запропоновано модифікацію широтно-імпульсного закону модуляції ключів інвертора шляхом врахування цих коливань, що забезпечує стабілізацію режиму живлення на заданому рівні і завдяки цьому мінімізує коливання електромагнітного моменту.

**Практична цінність** результатів роботи полягає у тому, що:

1. Обґрунтовано працездатність запропонованого комбінованого джерела живлення асинхронного електропривода транспортного засобу з додатковим джерелом електричної енергії, яке підключається до нульової точки трифазних обмоток статора двигуна та нижнього плеча інвертора через діод, дросель та активний опір. Розроблено методика розрахунку параметрів такої схеми.
2. Модифікований закон широтно-імпульсної модуляції ключів інвертора комбінованого джерела живлення, який враховує коливання вихідної напруги, пов'язані із наявністю додаткового джерела ЕРС, забезпечує стабілізацію вихідної напруги інвертора, завдяки чому покращуються характеристики електроприводу.
3. Доповнення структури системи векторного керування кутовою швидкістю електропривода каналами компенсації коливань моменту двигуна дозволило суттєво знизити їх рівень.
4. Розроблена методика вибору і техніко-економічного обґрунтування параметрів комбінованого джерела живлення дозволяє застосовувати їх в перспективних електричних транспортних засобах. Визначено, що запропоноване схемотехнічне рішення є ефективним з точки зору подовження циклу розряду акумуляторної батареї і зменшує капітальні та експлуатаційні витрати.

Основні наукові результати дисертації коректно представлено в загальних висновках.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.** Ступінь обґрунтованості отриманих у дисертації наукових положень і висновків є достатнім, базується на фундаментальних положеннях теорії електротехніки та підтверджується проведенням досліджень із застосуванням відомих теоретичних, аналітичних та чисельних методів, збігом теоретичних розробок з результатами комп'ютерного моделювання, а також задовільною збіжністю розрахункових та експериментальних даних (найбільша розбіжність склала 10 %).

Матеріали дисертаційної роботи застосовуються у навчальному процесі Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», а саме в курсовому і дипломному проектуванні студентів, які навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

**Оцінка змісту дисертації, її завершеності.** Дисертаційна робота є завершеною науковою працею. Повний обсяг дисертації складає 156 сторінок друкованого тексту та містить вступ, 5 розділів, висновки, список використаних джерел зі 101 найменуваннями і 5 додатків. Основний зміст викладений на 125 сторінках друкованого тексту.

У *вступі* обґрунтовано доцільність та актуальність роботи, відзначено зв'язок роботи з науковими програмами та планами, сформульовано мету та задачі дослідження, викладено наукову новизну, практичне значення результатів роботи, а також подані відомості про апробацію дисертаційної роботи.

У *першому розділі* розглядаються варіанти побудови системи електропривода електричного та гібридного транспортного засобу з додатковими джерелами енергії для живлення електричних двигунів. Пропонується спеціальна схема системи електропривода з двома джерелами живлення.

У *другому розділі* виконано дослідження та встановлені закономірності впливу параметрів основного і додаткового джерела енергії з його компонентами на параметри режиму живлення асинхронного електропривода.

*Третій розділ* роботи присвячено визначенню варіантів зміни класичного закону ШІМ ключів інвертора в комбінованій системі живлення для стабілізації режиму живлення електричного привода на заданому рівні.

У *четвертому розділі* роботи визначається вплив законів керування системи електропривода на електромагнітний момент асинхронного двигуна при живленні від несиметричної системи напруг. Це дозволяє розробити методи компенсації коливань моменту двигуна.

*П'ятий розділ* присвячено експериментальним дослідженням з метою підтвердження основних теоретичних результатів, які отримав автор. Експериментально досліджено властивості запропонованих структур тягових електроприводів з гібридною конфігурацією джерела живлення. Показано, що запропоноване рішення є ефективним з точки зору збереження основного заряду батареї і є економним рішенням у порівнянні з аналогами.

**Повнота викладу в опублікованих працях.** За результатами виконаних досліджень опубліковано в 6 наукових праць, з них: 2 статті в журналах, що

індексуються в наукометричній базі Scopus. 3 статті в зарубіжних періодичних виданнях, одна стаття в матеріалах наукових конференцій (журнал, що індексується в наукометричній базі Scopus).

Основні положення та наукові результати дисертаційної роботи розглядалися на: міжнародних наукових і науково-практичних конференціях «Форум гірників» (Дніпро, 2015), «Information Technologies in Science & Education'17» (Дніпро, 2017), «Фізико-хімічні геотехнології – 2018» (Дніпро, 2018), «2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)» (Київ, 2019).

Наукові результати дисертації достатньо повно представлені в науково-технічних публікаціях.

### **Зауваження щодо результатів, змісту і оформлення дисертації**

1. Пункти 5 та 6 наукової новизни подано у такому вигляді, що вони не формують наукову новизну. Їх потрібно конкретизувати. Пункти 1 та 3 наукової новизни мають схожі ознаки і мабуть їх було б доцільно об'єднати, або більш детально прописати.

2. Запропонована структура силової частини електроприводу, в якій додаткове електричне джерело енергії підключено до нульової точки трифазних обмоток статора двигуна та нижнього плеча інвертора через діод, дросель та активний опір, змінює стандартну динамічну модель системи кероване трифазне джерело живлення асинхронний двигун. В тому числі в частині її симетричності. Автором не надано повних диференціальних рівнянь, які описують динамічну поведінку такого об'єкта керування.

3. Оскільки для електричних транспортних засобів важливою є динаміка електромеханічних процесів, в тому числі при розгоні і гальмуванні, то бажано було б приділити більше уваги саме дослідженню динамічних режимів, особливо в умовах рекуперації і накопичення її в акумуляторній батареї.

4. У другому розділі визначаються параметри електричного кола додаткового джерела живлення, а саме активного опору, що обмежує рівень струму при короткому замиканні ЕРС додаткового джерела на мінусовий термінал інвертора. Було б доцільно дослідити вплив активного опору на інші характеристики тягового електропривода, як в статиці, так і в динаміці.

5. В роботі проглядається деяка термінологічна плутанина. Наприклад, в класифікації контролерів заряду батареї ( МРРТ-контролер, ШІМ-контролер); DC-DC – інвертор, DC-DC-перетворювач.

6. Розгляд застосування запропонованої схеми у системі із скалярним частотним керуванням є дещо недоречним, адже вона відома своїми недоліками щодо використання навантажувальної здатності асинхронного двигуна. Між тим, недостатньо досліджена робота системи векторного керування.

7. В оформленні дисертації є деякі недоліки у використанні невдалої термінології («швидкість двигуна» замість кутова швидкість), оформлення графіків (рис.4.6, рис 4.7 та інш.), помилок в рівняннях (див. рівняння (4.3)).

Зазначенні зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Бешти О. О.

**Висновок.** Представлена дисертаційна робота є цілісною логічно побудованою науковою працею, викладеною лаконічно і коректно з використанням сучасної наукової та інженерно-технічної термінології. Назва дисертації відповідає її змісту.

При розгляді виконаних в дисертаційній роботі досліджень, висновків та результатів з урахуванням повноти публікацій, можна відзначити, що наведені зауваження несуттєві та не знижують цінність роботи.

Наукова, теоретична і практична цінність розробок, новизна рішень, вірогідність і значущість висновків дають підставу вважати, що дисертація «Підвищення навантажувальної здатності в системі асинхронного електропривода транспортного засобу з комбінованим джерелом живлення» Бешти Олександра Олександровича є завершеною науковою працею, в якій отримано нові теоретично і практично обґрунтовані результати для створення перспективних електричних транспортних засобів.

За актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення наукових та практичних задач, новизною і ступенем обґрунтованості отриманих результатів та практичних висновків, за змістом поданого в ній матеріалу робота відповідає вимогам п.10 та п.11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету міністрів України №167 від 6 березня 2019 року, а її автор Бешта Олександр Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Завідувач кафедри автоматизації  
електромеханічних систем та електроприводу  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

д. т. н., професор



С. М. Пересада

Підпис проф. Пересади Сергія Михайловича засвідчую

5 листопада 2020р.

