

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Бомбика** Вадима Сергійовича «Система керування мережевим багаторівневим інвертором напруги», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 - Електротехнічні комплекси та системи

### Актуальність теми

Генеральна Асамблея ООН відзначає ключову роль сталої енергетики та її вагомий внесок у сталий розвиток, оголосивши 2014-2020 рр. «Декадою сталої енергетики для всіх» та закликавши країни-учасниці об'єднати свої зусилля для забезпечення загального та всеохоплюючого доступу до енергії.

В 2014 р. Європейська Рада схвалила основні напрямки політики в області клімату та енергетики до 2030 року:

1. Скоротити викиди парникових газів до 2030 року на 40%;
2. Довести до 27 % частку відновленої енергії в енергобалансі ЄС;
3. Підвищити на 27% рівень енергоефективності. Найбільш поширеними джерелами відновлюваних джерел енергії в Україні здобули сонячні електростанції.

Важливою складовою сонячної електростанції для формування змінної напруги набули багаторівневим інвертором напруги. Однак такі системи не забезпечують синхронізацію роботи інвертора з мережею та не враховують параметри мережі.

Визначені проблеми обумовлюють вирішення актуальної наукової задачі підвищення рівня ефективності роботи системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги в процесі роботи з сонячним модулем та мережею.

Науково-дослідна робота проводилась відповідно до наукового напрямку за держбюджетними темами «Розробка методів та засобів діагностування силового електрообладнання та керування режимами електричних мереж за реактивною потужністю і якістю електроенергії (номер державної реєстрації №0112U0011369) та «Інтелектуалізація електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами енергії на основі принципу Гамільтона-Остроградського (номер державної реєстрації №0115U001120).

Метою роботи є покращення рівня якості електроенергії та підвищення рівня енергоефективності мережевого багаторівневого інвертора напруги в процесі роботи з сонячним модулем шляхом вдосконалення системи керування.

До наукової новизни одержаних результатів відноситься:

- вперше розроблено закон регулювання повздовжньої складової струму багаторівневого інвертора, який враховує поточну та задану напругу мережі й напругу сонячного модуля, що дозволяє визначити оптимальні параметри інвертора;

- вперше розроблено закон регулювання поперечної складової струму мережевого багаторівневого інвертора, який враховує задане значення активної потужності з вузла мережі та задане значення поперечної складової струму;

- вдосконалено математичну модель системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги, що дозволяє враховувати параметри сонячного модуля та параметри мережі та струм намагнічування трансформатора.

### **Оцінка структури та змісту дисертації**

Дисертаційна робота Бомбика В.С. складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (із 122 найменувань) та 7 додатків. Основний текст викладено на 109 сторінках друкованого тексту, містить 54 рисунок, 4 таблиці. Загальний обсяг роботи – 153 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, зазначено зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету та задачі дослідження, наведено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, подано відомості щодо апробації роботи та публікацій, особистого внеску здобувача.

**В першому розділі** виконано аналіз систем керування мережевим багаторівневим інвертором напруги при роботі з сонячним модулем та мережею.

Розглянуто системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги із застосуванням алгоритму визначення точки вибору максимальної потужністю сонячного модуля.

Поставлені задачі досліджень.

У **другому розділі** розроблено закони керування мережевим багаторівневим інвертором напруги, що дозволило визначити оптимальні параметри роботи інвертора з сонячним модулем і мережею.

Розроблено функціональну схему системи керування мережевим інвертором з внутрішніми контурами регулювання струмів. Отримані залежності потужності, які видає мережевий інвертор у разі роботи із фактичною вихідною напругою при різних температурах.

Уточнено математичну модель утримання сонячного модуля в точці максимальної потужності.

Побудовано функціональну схему системи керування мережевим інвертором напруги з врахуванням обмеження намагнічувального струму.

**Третій розділ** присвячено побудові комп'ютерних моделей систем керування мережевим інвертором напруги, досліджено роботу системи, визначено оптимальні налаштування автоматичних регуляторів складових струму.

Графічно представлено залежності струмів та напруг від температури довкілля та освітленості.

Результати моделювання представлені у виді перехідних процесів системи керування мережевим інвертором напруги при різних рівнях освітлюваності.

Визначено правила налаштування регуляторів системи керування.

У **четвертому розділі** запропоновано мікропроцесорну реалізацію запропонованої системи керування мережевим багаторівневим інвертором напруги, розроблено алгоритми функціонування, а також програмне забезпечення мікропроцесорної системи керування.

Визначені графічні залежності похибок першого і другого роду від величини середньоквадратичного відхилення. Визначено величини ризиків за різними критеріями.

В загальних висновках наведено формулювання розв'язаної наукової задачі та отримані наукові та практичні результати.

Додатки містять інформацію про впровадження результатів.

Автореферат дисертації відображає її зміст та висновки. У авторефераті розкрито внесок дисертанта в даний науковий напрямок, новизна розробок, теоретичні та практичні результати проведених досліджень.

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації і повністю відображає її кваліфікаційні ознаки.

### **Практична значення одержаних результатів:**

Проведені в роботі дослідження дозволили:

розробити структурні схеми регуляторів системи керування багаторівневим інвертором напруги;

розробити комп'ютерні моделі систем керування багаторівневим інвертором напруги у разі роботи з сонячним модулем;

здійснити реалізацію схеми керування багаторівневим інвертором напруги в мікропроцесорному виконанню.

Результати досліджень, отримані в дисертаційній роботі, впроваджено в ТОВ «Енергоінвест» та навчальний процес Вінницького національного технічного університету.

### **Ступінь обґрунтованості висновків, рекомендацій та наукових положень**

Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі, є достатньою і базується на поглибленому аналізі літературних джерел, сформульованої мети і задач дисертації, використанні сучасних методів дослідження, а також у якісному та аргументованому формулюванні висновків.

Достовірність отриманих результатів підтверджується коректним застосуванням теоретичних основ електротехніки, теорії автоматичного керування, та комп'ютерними моделюванням.

Висновки по розділах та по роботі в цілому відповідають змісту дисертації і є об'єктивними. Отримані в дисертації висновки коректні і повністю відповідають вирішеним задачам дослідження. Наукові положення базуються на коректному використанні методів дослідження.

### **Повнота викладення матеріалів в опублікованих працях**

Основні теоретичні положення і практичні результати дисертаційної роботи викладені у наукових виданнях та пройшли апробацію на міжнародних науково-технічних конференціях.

За матеріалами дисертації опубліковано 9 друкованих працях, в тому числі 5 фахових статей у наукових журналах, що входять до переліку ДАК України з яких 1 стаття входить до бібліографічної і реферативної бази даних Scopus, а також 3 статті в наукових періодичних журналах України та 1 тези доповіді.

### **Відповідність дисертації встановленим вимогам**

У цілому за актуальністю, науковою новизною, достовірністю отриманих результатів та їх практичним значенням, а також за змістом, структурою, обсягом і оформленням дисертація та автореферат відповідають вимогам, що висуваються Міністерством освіти і науки України до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Дисертація викладена в зрозумілій доступній формі. Результати роботи викладено чітко та послідовно, висновки за розділами та загальні висновки дисертації містять наукові та практичні результати.

Основні результати дисертації мають практичне впровадження.

Автореферат повно відображає основний зміст дисертації та відповідає вимогам щодо його обсягу й оформлення.

Зміст дисертації засвідчує її завершеність та відповідність встановленим вимогам спеціальності 05.09.03 - Електротехнічні комплекси та Системи.

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

1. Для опису PV-характеристики сонячного модуля прийнято поліноміальну регресійну модель п'ятого порядку. Таке твердження отримано на підставі досліджень при рівні сонячного освітлення в 1000 Вт/м<sup>2</sup>. Однак в роботі не приведені результати досліджень при інших рівнях сонячного освітлення.

2. Не зрозуміло, яким чином визначається коефіцієнт підсилення значення температури з виходу датчика температури з формули (2.40) дисертації.

3. В запропонованій функціональній схемі системи керування мережевим інвертором з врахуванням обмеження намагнічувального струму (рисунок 2.14 дисертації) введено накопичувач енергії НЕ, але відсутні рекомендації щодо його вибору відповідно до потужності сонячної панелі.

4. Не в повній мірі приведена інформація щодо визначення оптимальних значень для налаштування регуляторів системи керування інвертором, які є результатом комп'ютерного моделювання.

5. В висновках дисертаційної роботи не вказано які показники якості та енергоефективності покращено і наскільки.

6. Зображення комп'ютерних моделей систем керування багаторівневим інвертором напруги містить тільки прості віртуальні блоки, а всі основні складові представлено у вигляді підсистем.

7. При розгляді алгоритмів визначення точки відбору сонячним модулем не розглянуто варіант регулювання положенням сонячної батареї відносно руху сонця.

8. Літературні джерела 118, 119, 120 оформлені з порушенням вимог ДСТУ.

9. Відсутнє позначення зворотних діодів на рис. 2.11, 2.14.

### **Висновки**

Вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Бомбика Вадима Сергійовича «Система керування мережевим багаторівневим інвертором напруги», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 - Електротехнічні

комплекси та системи, є завершеною науковою працею, в якій отримано нові обґрунтовані наукові результати підвищення рівня функціонування сонячних батарей. Проведені дослідження виконано на достатньому науковому рівні з використанням сучасних методів та відрізняються науковою новизною.

Враховуючи актуальність теми дисертаційної роботи, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, повноту викладу в опублікованих працях та апробації основних положень, вважаю, що дисертація «Система керування мережевим багаторівневим інвертором напруги» відповідає вимогам пунктів 9 та 11 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 р. № 656), що висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор Бомбик Вадима Сергійович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 - Електротехнічні комплекси та системи.

Офіційний опонент, доктор технічних наук, професор,  
в.о. завідувача кафедри автоматизації  
управління електротехнічними  
комплексами Національного  
технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»



В.П.Розен

Підпис доктора технічних наук, професора Розена В.П. засвідчую

Учений секретар  
Вченої ради Національного  
технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»



А.А. Мельниченко