

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Становського Євгена Юрійовича
на тему «Удосконалення гібридної фотоелектричної системи з акумуляторною
батареєю для потреб локального об'єкту»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 14 Електрична інженерія
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Актуальність теми дисертації.

Створення умов для сталого розвитку національної економіки пов'язано з розвитком альтернативних джерел енергії, нових продуктів та інноваційних рішень в енергетичному секторі. Широке впровадження відновлюваних джерел енергії на всіх рівнях споживання сприяє екологічній та енергетичній безпеці. Зокрема це стосується використання фотоелектричних систем для систем електроживлення локальних об'єктів приватного сектору.

Разом з цим існує ряд проблем пов'язаних з нерівномірністю надходження фотоелектричної енергії та сумісністю з існуючими розподільчими електромережами. Неспожита фотоелектрична енергія обумовлює піковий експорт в мережу в денні години при збереженні пікового попиту зранку та ввечері. Для невеликих об'єктів визначилась тенденція щодо локалізації споживання фотоелектричної енергії за мінімумом експорту в мережу. За цього найбільше використання знаходять гібридні фотоелектричні системи з підключенням до розподільчої мережі змінного струму та акумуляторами. Ефективність використання таких систем в певній мірі досягається при використанні багатофункціональних мережевих інверторів та управлінні енергоспоживанням за прогнозом генерації фотоелектричної батареї. Питання вдосконалення таких систем пов'язані з забезпеченням електромагнітної сумісності, вирівнюванням попиту протягом доби зі зниженням пікового навантаження.

Вважаю, що тема дисертаційної роботи Становського Євгена Юрійовича, яка присвячена вдосконаленню гібридної фотоелектричної системи з акумуляторною батареєю для потреб локального об'єкту є актуальною.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Отримав розвиток принцип управління фотоелектричною системою з завданням значення активної потужності, що споживається з мережі, за

прогнозом фотоелектричної генерації з формуванням стану заряду акумуляторної батареї та зміною механізму перемикання регуляторів та введенням зворотного зв'язку за потужністю навантаження, що забезпечує підвищення ступеню споживання фотоелектричної енергії та зменшення витрат на електроенергію.

2. Запропоновано використання в контурі регулювання струму інвертору зворотного зв'язку за струмом конденсатора вихідного фільтру з модифікацією структури фільтру за визначенням параметрів, що сприяє забезпеченню відповідності стандарту струму в точці підключення до мережі в разі несинусоїдальної напруги.

3. Удосконалено математичну модель акумуляторної батареї за рахунок врахування зміни режимів заряду та значень струму розряду, що підвищує точність відтворення характеристик, що надані виробником.

4. Розвинуто принципи реалізації модульної структури моделі системи з відокремленням незмінної частини та модуля формування завдання, що побудовані з врахуванням режимів функціонування. Ведення модуля формування завдання дозволяє в прискореному режимі до основного циклу моделювання визначити параметри управління та завдання потужності.

В роботі застосовані сучасні методи теоретичного дослідження, зокрема, гармонійного аналізу, теорії автоматичного керування, аналізу АЧХ і ФЧХ, апроксимації. Достовірність та обґрунтованість наукових результатів підкріплено значним обсягом експериментальних досліджень електромагнітних та енергетичних процесів в системі, які виконані з використанням середовища Matlab Simulink.

Отже, поставлене в дисертаційній роботі науково-практичне завдання щодо подальшого вдосконалення гібридної фотоелектричної системи із розв'язанням комплексу питань: сумісності з енергосистемою за гармоніками, за обмеження пікового споживання та виключення експорту енергії в мережу, підвищення ступеню використання енергії ФБ на споживання зі зменшенням витрат на електроенергію виконано повністю, а здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За змістом дисертаційна робота здобувача Становського Є.Ю. повністю відповідає освітньо-науковій програмі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (сертифікат про акредитацію освітньої програми № 4576 від 02.06.2023) галузі знань 14 Електрична інженерія.

Дисертаційна робота являє завершену наукову працю за наявності особистого внеску здобувача у науковий напрям «Енергетика та енергоефективність».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Становського Є. Ю. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською загальноприйнятою науковою мовою з використанням актуальної наукової термінології. Зміст роботи має чітку структуру та цілісність, і повністю відповідає обраній темі дослідження.

Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновки, список літератури із 109 найменувань та додатки. Загальний обсяг дисертації 149 сторінок.

У вступі дисертації обґрунтовано її актуальність, визначено мету та завдання дослідження, описано використання методів дослідження при вирішенні поставлених завдань, а також представлено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів. Також висвітлено публікацію результатів у наукових виданнях і апробацію на конференціях, зазначено особистий вклад автора та використання роботи в навчальному процесі.

У **першому розділі** роботи за «класичною структурою» виконано аналіз існуючих рішень щодо гібридних фотоелектричних систем для самоспоживання локальних об'єктів. Виконано дослідження стану існуючих рішень сучасних гібридних інверторів та проаналізовано стан розробок щодо реалізації перетворювального агрегату та системи керування гібридною фотоелектричною системою з акумуляторною батареєю. Оцінено можливості використання багатофункціональних мережевих інверторів для забезпечення електромагнітної сумісності з мережею відповідно стандартам. Зокрема це стосується впливу несинусоїдальності напруги мережі, що припускається стандартом, на додаткові спотворення струму в точці підключення до мережі.

Виконано аналіз систем регулювання фотоелектричних систем та алгоритмів управління розподілом енергії в системі, а також аналіз стану щодо математичного моделювання електромагнітних та енергетичних процесів в системі.

На підставі виконаного аналізу сформульовано завдання для розв'язання.

У **другому розділі** розглянуто структури перетворювального агрегату фотоелектричної системи в разі мостової та каскадної схем багатофункціонального мережевого інвертору. Обґрунтовано визначення

параметрів силових кіл та напруги на вході мережевого інвертора за припустимих за стандартом значень вищих гармонік напруги мережі. Розглянуто можливість компенсації вищих гармонік струму за зміною структури вихідного фільтру мережевого інвертора з обґрунтуванням параметрів його елементів. Показано, що в поєднанні з компенсуючим зв'язком за струмом фільтру в контурі регулювання струму та введенням до блоку завдання струму сигналу струму конденсатору фільтру це сприятиме компенсації гармонік більш високого порядку.

Розроблені математичні моделі в середовищі Matlab для досліджень електромагнітних процесів в системі «мережа – перетворювальний агрегат – навантаження» з урахуванням несинусоїдальної напруги для варіантів схеми багатофункціонального мостового інвертора. За результатами моделювання показано можливість підтримання якості струму мережі за значення $THD_{ig} \leq 5\%$ практично у всьому діапазоні його змінювання.

Третій розділ присвячений реалізації управління з завданням потужності, що споживається з мережі, за прогнозом генерації фотоелектричної батареї та розрахунковим графіком потужності навантаження. В якості цільової функції управління обрано графік стану заряду акумуляторної батареї з завданням контрольних точок та обмеженням глибини розряду.

Розглянуто структуру системи регулювання із змінною структурою регуляторів за прив'язки режимів роботи та перемикаць регуляторів до формування стану заряду акумуляторної батареї. Запропоновано в режимі заряду з постійною напругою в разі близьких значень потужності, що споживається з мережі, і потужності навантаження здійснювати перемикання каналів керування зі зменшенням значення потужності мережі відносно заданого. Використовується вимірне значення потужності навантаження і вводиться обмеження щодо потужності мережі, що забезпечує максимальне використання фотоелектричної енергії на споживання із зменшенням споживання енергії з мережі. Показано, що реалізація управління передбачає використання трьох каналів регулювання в разі роботи паралельно з мережею і четвертий канал з регулятором напруги навантаження в автономному режимі зі зміною налаштування контуру регулювання струму. За цього в каналі регулювання струму фотоелектричної батареї використовується кероване обмеження за максимальним струмом, що виключає перемикання в режим короткого замикання.

Для реалізації запропоновані сценарії управління та обґрунтована методика визначення завдання активної потужності, що споживається з мережі, згідно прийнятої тарифікації оплати за електроенергію. Встановлено умови, коли за середньомісячної генерації на рівні літа перехід з сценарію за одним тарифом на тризонний забезпечує більше зниження витрат на електроенергію.

У четвертому розділі виконано математичне моделювання енергетичних процесів фотоелектричної системи для добового циклу роботи. За цього уточнено опис моделі з урахуванням завдання потужності мережі, що дозволяє розглядати різні сценарії функціонування.

Здійснено удосконалення математичної моделі акумулятору з підвищенням точності відтворення характеристик заряду і розряду до 3% відносно характеристик виробника, що надаються в графічній формі.

Обґрунтовано компонування модульної структури моделі енергетичних процесів з відокремленням модулю формування завдання, який здійснює розрахунок параметрів управління в прискореному масштабі часу до початку основного циклу моделювання.

Здійснено комп'ютерне моделювання у середовищі Matlab Simulink за прийнятих сценаріїв управління для різних умов і графіків навантаження. Наведені результати моделювання з порівняльною оцінкою отриманих показників, що демонструє ефективність запропонованих рішень і математичних моделей.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 14 наукових публікаціях здобувача, серед яких згідно вимогам враховуються: 5 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, з них 1 стаття входить до наукометричної бази SCOPUS Q2; 4 тези доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

Також результати дисертації були апробовані на 5 наукових фахових конференціях.

Як показав проведений аналіз наукових праць здобувача, результати дисертаційної роботи достатньо повно відображені автором у його наукових публікаціях. Вказаний особистий внесок здобувача в сумісних публікаціях свідчить, що він є автором вище перелічених отриманих наукових результатів. Порушень правил академічної доброчесності не виявлено.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

До недоліків, які не знижують загальної високої оцінки роботи, слід віднести:

1. Для вирішення наукового завдання поставлено забагато задач – 9, на мій погляд, їх доцільно було б укрупнити, наприклад завдання 7, 8, 9 стосуються моделювання енергетичних процесів.

2. В табл.1.1, стор. 32 наведені технічні характеристики інверторів, але нажаль автор не привів інформацію щодо спотворень струму.

3. На стор.59 за текстом: «Введення фільтру LF зі сталою часу $\tau=10 \cdot 10^{-5}$ [24], послідовно з конденсатором (рис. 2.2 і рис. 2.3) обмежує можливості...». Але ж на рис.2.2 і 2.3 ніякого LF фільтру немає. В яких одиницях стала часу?

4. Опис наведених структур моделей в четвертому розділі є надто стислим або повністю відсутній, наприклад, «Модуль управління і розрахунку (рис. 4.8) реалізовано згідно рівнянням (4.1)-(4.6)» (стор. 97).

5. В п.3.3 запропоновані сценарії управління ФЕС та методика визначення завдання активної потужності, що споживається з мережі, згідно прийнятої тарифікації оплати за електроенергію. На скільки відсотків можуть знижуватись витрати на електроенергію при застосуванні запропонованої методики?

6. Чи оцінювалась похибка генерації представленої в четвертому розділі ФЕС та прогнозу? При якій похибці прогнозу генерації ФЕС залишається можливість збереження (покращення) показників в реальних умовах, коли навантаження менше прийнятого значення, а генерація відрізняється від прогнозу?

7. На яких параметрах заснований прогноз генерації ФБ (п.4.3.3, стор.105)? Окрім географічних факторів, (широта, довгота, азимут) чи враховуються метеопараметри в реальному часі?

8. В дисертаційній роботі автор використовує поняття «осцилограма» для графічної інтерпретації діючих значень параметрів режимів роботи ФЕС (струму, напруги, потужності) в інтервалі доби. Слід зазначити, що поняття «осцилограма» використовується, як правило, для миттєвих значень параметрів режиму, а не для їх діючих значень.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Становського Євгена Юрійовича на тему «Удосконалення гібридної фотоелектричної системи з акумуляторною батареєю для потреб локального об'єкту» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі 14 Електрична інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6–9

«Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Становський Євген Юрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент:

Перший проректор
ДВНЗ «Приазовський державний
технічний університет»,
докт. техн. наук, професор

Юрій САЄНКО

22.07.2024 р.

*Лукис д.т.н., професора
Савица н.п. засвідчено*

*в.о.начальника
затверджено*



Мара Марина Кравченко