МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра суднових електроенергетичних систем

ЗАТВЕРДЖЕНО
Проректор з науково-педагогічної роботи
_____ Слободян С.О.
"___" _____ 2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Program of the Discipline

Системи силової електроніки в електроенергетиці
Power electronics systems in power engineering

рівень вищої освіти _____другий (магістерський)_____

тип дисципліни _____вибіркова_____

мова(и) викладання _____українська_____

Миколаїв – 2023

Робоча програма навчальної дисципліни «Системи силової електроніки в електроенергетиці» є **вибірковим** компонентом професійної підготовки здобувачів вищої освіти у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова для створення індивідуальної освітньої траєкторії навчання. «21» 11 2023 року, 15 с.

Розробник: Костюченко В.І., канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри СЕЕС.

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Системи силової електроніки в електроенергетиці» розглянуто на засіданні кафедри суднових електроенергетичних систем.

Протокол № 4 від «21» 11 2023 р.
Завідувач кафедри СЕЕС,
канд.техн.наук, доцент _____ А.В. Обрубов

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Системи силової електроніки в електроенергетиці» розглянуто Методичною радою Навчально-наукового інституту автоматики та електротехніки

Протокол № 5 від «22» 12 2023 р.

Голова МР ННІАЕ _____ Д.О. Жук

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Системи силової електроніки в електроенергетиці» погоджено з навчальним відділом.

Начальник відділу _____ А.В. Лабарткава

Робоча програма навчальної дисципліни «Системи силової електроніки в електроенергетиці» затверджено Навчально-методичною радою НУК
Протокол № 10 від «27» 12 2023 р.

Голова НМР НУК _____ С.О. Слободян

© НУК, 2023

ЗМІСТ

Вступ 4
1. Опис навчальної дисципліни 5
2. Мета вивчення навчальної дисципліни 6
3. Передумови для проходження дисципліни 8
4. Очікувані результати навчання 8
5. Програма навчальної дисципліни 10
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування 14
7. Форми поточного та підсумкового контролю 22
8. Критерії оцінювання результатів навчання 25
9. Рекомендовані джерела інформації 25

ВСТУП

Анотація

Вивчає фізичні явища в напівпровідникових приладах силової електроніки, з сучасними та найбільш перспективними елементами і вузлами електронної техніки, яка використовується в енергетичних системах та комплексах.

Курс формує необхідний фундаментальний обсяг знань, який дозволяє успішно опанувати основи теорії і практики керування енергетичними потоками з використанням пристроїв силової електроніки, дає можливість та вміння розраховувати та грамотно експлуатувати електронне обладнання, суттєво економити електроенергію.

Ключові слова: вольт-амперна характеристика; вентильний перетворювач; джерело струму; електромагнітна сумісність; показники якості електроенергії; тиристорний перетворювач.

Abstract

He studies physical phenomena in semiconductor devices of power electronics, with modern and most promising elements and nodes of electronic equipment used in energy systems and complexes.

The course forms the necessary fundamental amount of knowledge, which allows you to successfully master the basics of the theory and practice of power flow management using power electronics devices, gives the opportunity and ability to calculate and competently operate electronic equipment, significantly save electricity.

Keywords: volt-ampere characteristic; valve converter; current source; electromagnetic compatibility; electricity quality indicators; thyristor converter.

1. Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Галузь знань, спеціальність (освітня програма), освітній рівень</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>денна форма навчання</td><td>заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td>Кількість кредитів –5</td><td>Галузь знань –</td><td colspan="2">вибіркова</td></tr>
<tr><td>Модулів – 1</td><td rowspan="6">Спеціальність –

Освітня програма –</td><td colspan="2">Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>Змістових модулів – 2</td><td rowspan="2">5-й</td><td rowspan="2">5-й</td></tr>
<tr><td>Електронний адрес РПНД на сайті Університету</td></tr>
<tr><td>Індивідуальне науково-дослідне завдання –</td><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Загальна кількість годин – 150</td><td>10-й</td><td>10-й</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лекції</td></tr>
<tr><td rowspan="11">Тижневих годин для денної форми навчання:
аудиторних – 4

самостійної роботи студента – 6</td><td rowspan="11">Освітній рівень:

другий (магістерський)</td><td>30 год.</td><td>10 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Практичні роботи</td></tr>
<tr><td>30 год.</td><td>10 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторні роботи</td></tr>
<tr><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>90 год.</td><td>130 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Індивідуальні завдання
Не передбачено</td></tr>
<tr><td colspan="2">Вид контролю: залік</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2">Форма контролю:
комбінована</td></tr>
</table>

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни «Системи силової електроніки в електроенергетиці» є формування у студентів сучасного рівня знань, умінь і навиків у галузі сучасних систем з пристроями силової електроніки, які дозволяють їм успішно вирішувати професійні завдання в області проектування, розрахунку і експлуатації таких систем різного функціонального призначення.

Завданням опанування дисципліни є вивчення принципів побудови сучасних систем енергозабезпечення з пристроями силової електроніки з урахуванням математичної структури і фізичних закономірностей об'єктів керування, методів аналізу, розрахунку, раціонального вибору елементів таких систем, відмінних рис в залежності від призначення, характеру динамічних процесів і особливостей статичних і перехідних режимів, зокрема, в системах енергозабезпечення з джерелами безперебійного живлення та відновлюваними джерелами енергії, в електричних мережах для покращення якості електроенергії; формування знань про силову електроніку як про пристрої, що входять до складу різних об'єктів електротехніки та електроенергетики.

Компетентності, які можуть набути студенти в результаті вивчення дисципліни:

- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;
- здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для використання в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці;
- здатність використовувати програмне забезпечення для комп’ютерного моделювання, автоматизованого проектування, автоматизованого виробництва і автоматизованої розробки або конструювання елементів електротехнічних і енергетичних комплексів.

3. Передумови для вивчення дисципліни

Передумовами для вивчення дисципліни є раніше вивчені дисципліни: вища математика, основи електротехніки, електричні машини, основи електроенергетики та програмування та такі раніше здобуті результати навчання, як: концептуальні знання у сфері електротехніки та електроенергетики; елементарні вміння побудови найпростіших алгоритмів програмування.

4. Очікувані результати навчання

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у студентів таких результатів навчання:

– володіти методами математичного та фізичного моделювання об’єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах;

– відтворювати процеси в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах при їх комп’ютерному моделюванні.

5. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Випрямлячі і залежні інвертори. Автономні інвертори.

Тема 1. Випрямлячі однофазного струму. [1]. с. 7-19.
Тема 2. Однофазні керовані випрямлячі. [1]. с. 20-30.
Тема 3. Трифазні випрямлячі. [1]. с. 31-48.
Тема 4. Трифазні керовані випрямлячі. [1]. с. 49-59.
Тема 5. Залежні інвертори. [1]. с. 60-80.
Тема 6. Автономні інвертори струму. [1]. с. 85-110.
Тема 7. Автономні резонансні інвертори. [1]. с. 111-126.
Тема 8. Автономні інвертори напруги. [1]. с. 127-158.

Змістовий модуль 2. Перетворювачі частоти. Компенсатори реактивної потужності.

Тема 9. Перетворювачі частоти з проміжною ланкою. [1]. с. 160-162.
Тема 10. Перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком і природною комутацією струму тиристорів. [1]. с. 163-174.
Тема 11. Перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком на повністю керованих вентилях. [1]. с. 175-207
Тема 12. Підвищувальні перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком на повністю керованих вентилях. [1]. с. 208-210.
Тема 13. Компенсатори реактивної потужності. Реактори, керовані тиристорами. Конденсатори, комутовані тиристорами. Конденсаторно-реакторні компенсатори реактивної потужності. [1]. с. 211-221
Тема 14. STATCOM з вентильним джерелом реактивної потужності. [1]. с. 222-227.
Тема 15. Компенсатори потужності спотворень - активні фільтри. [1]. с. 228-238.

Тематичний план навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					Заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		лек	пр	лаб	с.р.		лек	пр	лаб	с.р.
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Модуль 1										
Змістовий модуль 1. Випрямлячі і залежні інвертори. Автономні інвертори.										
Тема 1. Випрямлячі однофазного струму.	10	2	2	-	6	10	-	-	-	10
Тема 2. Однофазні керовані випрямлячі.	10	2	2	-	6	10	-	-	-	10
Тема 3. Трифазні випрямлячі.	10	2	2	-	6	10	1	1	-	8
Тема 4. Трифазні керовані випрямлячі.	10	2	2	-	6	10	1	1	-	8
Тема 5. Залежні інвертори.	10	2	2	-	6	10	1	1	-	8
Тема 6. Автономні інвертори струму.	10	2	2	-	6	10	1	1	-	8
Тема 7. Автономні резонансні інвертори.	10	2	2	-	6	10	1	1	-	8
Тема 8. Автономні інвертори напруги.	10	2	2	-	6	10	-	-	-	10
Разом за змістовим модулем 1	**80**	**16**	**16**	**-**	**48**	**80**	**5**	**5**	**-**	**70**
Змістовий модуль 2. Концепція Smart Grid. Smart-системи вимірювання, обліку та управління енерговикористанням.										
Тема 9. Перетворювачі частоти з проміжною ланкою.	10	2	2	-	6	10	1	1	-	8
Тема 10. Перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком і природною комутацією струму тиристорів. [	10	2	2	-	6	10	1	1	-	8
Тема 11. Перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком на повністю керованих вентилях.	10	2	2	-	6	10	1	1	-	8
Тема 12. Підвищувальні перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком на повністю керованих вентилях.	10	2	2	-	6	10	1	1	-	8
Тема 13. Компенсатори реактивної потужності. Реактори, керовані тиристорами. Конденсатори, комутовані тиристорами. Конденсаторно-реакторні компенсатори реактивної потужності.	10	2	2	-	6	10	1	1	-	8
Тема 14. STATCOM з вентильним джерелом реактивної потужності.	10	2	2	-	6	10	-	-	-	10
Тема 15. Компенсатори потужності спотворень - активні фільтри.	10	2	2	-	6	10	-	-	-	10
Разом за змістовим модулем 2	**70**	**14**	**14**	**-**	**42**	**70**	**5**	**5**	**-**	**60**
Разом за курсом	**150**	**30**	**30**	**-**	**90**	**150**	**10**	**10**	**-**	**130**

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Аналіз процесів у системах з пристроями силової електроніки за допомогою ряду Фур'є	2	1
2	Особливості роботи систем від живлення несинусоїдальним струмом	2	1
3	Дослідження паралельної роботи декількох генераторів на загальне навантаження	4	1
4	Аналіз схем, які містять діоди. Паралельне і послідовне з'єднання діодів.	2	1
5	Розрахунок трифазних випрямлячів.	4	1
6	Регулювальні характеристики випрямлячів	2	1
7	Розрахунок захисних ланцюгів	2	1
8	Фільтрація пасивними фільтрами	4	1
9	Заряд конденсаторних батарей від перетворювача постійного струму	4	1
10	Робота вентильного перетворювача в системі електроживлення з компенсатором реактивної потужності	4	1
	Разом	30	10

Самостійна робота

Самостійна робота передбачає підготовку до лекційних занять; самостійне поглиблення знання за темами дисципліни; підготовку та оформлення практичних занять; підготовку до двох поточних модульних контрольних робіт.

Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Вид роботи	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
1	Підготовка до лекцій	25	30
2	Підготовка до практичних занять	25	30
3	Підготовка модульних контрольних робіт	25	30
4	Підготовка до заліку	15	40
...	***Разом***	90	130

6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методів їх демонстрування

Методи навчання:

– лекції;

– практичні роботи;

– робота з літературою;

– інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки (проводиться одноразово на першому занятті в лабораторії).

Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання з дисципліни:

– залік;

– стандартизовані тести;

– презентації результатів виконаних практичних завдань;

– студентські презентації та виступи на наукових заходах.

7. Форми поточного та підсумкового контролю

Рівень засвоєння матеріалу дисципліни здійснюється шляхом проведення поточного контролю у вигляді тестових завдань різної складності, перевірки результатів роботи на практичних заняттях та підсумкового контролю у формі заліку. Питома вага заключного заліку в загальній системі оцінок – 40 балів.

Поточний контроль проводиться на кожному практичному занятті та за результатами виконання завдань самостійної роботи. Він передбачає оцінювання теоретичної підготовки здобувачів вищої освіти із зазначеної теми шляхом тестування (у тому числі, самостійно опрацьованого матеріалу) та набутих практичних навичок під час виконання завдань практичних робіт. Підсумкова оцінка з дисципліни складається з оцінок, отриманих за поточний модульний контроль у формі тестування – до 28 балів, результатів роботи на практичних заняттях – до 32 балів, та заліку – до 40 балів.

За всі контрольні заходи (КЗ) протягом семестру студент може отримати від 0 до 100 балів. Підсумкова оцінка навчального курсу є сумою проміжних оцінок і оцінки заліку.

Якщо студент не набрав мінімальну суму балів, то він не допускається до КЗ і йому рекомендується набрати цю кількість за рахунок виконання додаткового завдання для самостійного виконання, зокрема участю у науковій конференції з обов’язковою публікацією тез доповідей, або публікацією статті у фаховому вітчизняному чи закордонному виданні, що включено до

міжнародних наукометричних баз даних.

Студент, який набрав за всі КЗ менше 60 балів, складає підсумковий семестровий залік (проводиться у письмовій формі в екзаменаційну сесію), до якого він допускається після виконання всіх передбачених елементів модулів, результатом якого є отримання необхідної мінімальної суми 50 балів.

Форми контролю результатів навчальної діяльності студентів та їх оцінювання

Практичні роботи	Критерії оцінювання
4	Студент самостійно виконав всі етапи рішення задачі. В представленому звіті немає помилок. Всі параметри систем вірні та демонструють правильність роботи досліджуваної системи чи об’єкту. Можливі одна-дві різні неточності, які не є наслідком незнання або нерозуміння навчального матеріалу.
3	Робота виконана не в повному обсязі. Допущено більше однієї помилки при дослідженні системи. Студент виконує практичну роботу згідно з інструкцією, іноді після консультації викладача, але не володіє обов'язковими вміннями за темами, що перевіряються, та основними навичками роботи, необхідними для вирішення поставленого завдання.
2	Роботу в основному не виконано (обсяг виконаної частини менше 2/3 від загального обсягу завдання). Студент показує незнання основних понять, нерозуміння вивчених закономірностей і взаємозв'язків, не вміє вирішувати кількісні та якісні завдання. Допущені істотні помилки, які показали, що студент не володіє обов'язковими знаннями з даної теми в повній мірі.
1	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Допущені істотні помилки, які показали, що студент не володіє обов'язковими знаннями з даної теми в повній мірі, вміннями і навичками практичної роботи, або значна частина роботи виконана не самостійно.
0	Роботу повністю не виконано або допущені суттєві помилки та робота показала повну відсутність у здобувача вищої освіти обов'язкових знань та вмінь за темами, що перевіряються.
	Максимальна оцінка студента за даний компонент програми 50 балів (10 робіт по 5 балів).

Критерії оцінювання поточного модульного контролю

Модульні контрольні роботи (МКР) складаються з теоретичних запитань і проводяться письмово. На виконання роботи відводиться 30 хвилин. У відповідності до програми передбачено 2 поточних модульних контролі, таким чином максимальна оцінка за даний компонент програми 10 балів. Кожна МКР передбачає два короткі питання.

Відповідь на письмові питання	**Критерії оцінювання**
5	Відповідь правильна, повна, логічна, містить аналіз, систематизацію, узагальнення, використані міжпредметні зв'язки, містить аргументовані висновки.
4	Відповідь в цілому правильна, достатньо повна, логічна; допущені несуттєві помилки та неточності у викладенні матеріалу
3	Відповідь частково правильна, містить неточності, недостатньо обґрунтована.
2	Відповідь має суттєві помилки, аргументи несформульовані, використовуються невірна термінологія.
1	Відповідь містить значну кількість суттєвих помилок, не обґрунтована.
0	Студент не дає відповіді.
	Максимальна оцінка студента за відповіді на письмові питання 20 балів (2 МКР по 10 балів).

Критерії оцінювання знань з дисципліни на семестровому заліку

Залік проводиться в письмовій формі та складається з трьох завдань – двох теоретичних запитань та тесту. Максимальна оцінка студента за даний компонент програми 40 балів

Виконання першого завдання потребує повної аналітичної і змістовної відповіді (оцінюється від 0 до 15 балів).

13-15 балів отримують здобувачі вищої освіти, які повно та ґрунтовно розкрили теоретичне питання, використавши при цьому не лише обов'язкову, а й додаткову літературу, в повному обсязі володіють навчальним матеріалом, вільно, самостійно й аргументовано його викладають під час письмової відповіді.

10-12 балів отримують здобувачі вищої освіти, які достатньо повно володіють навчальним матеріалом, в цілому розкрили теоретичне питання, однак не повно, і допустили деякі несуттєві неточності та незначні помилки, не вистачає достатньої глибини та аргументації. При цьому не було використано на достатньому рівні обов'язкову літературу.

8-9 балів отримують здобувачі вищої освіти, які в цілому володіють навчальним матеріалом, правильно визначили сутність питання, але розкрили його не повністю, без глибокого всебічного аналізу, обґрунтування та аргументації, допустивши деякі незначні помилки.

6-7 балів отримують здобувачі вищої освіти, які в цілому володіють навчальним матеріалом, правильно визначили сутність питання але без

використання необхідної літератури, розкривши його частково і допустивши при цьому окремі суттєві неточності і помилки, котрі частково впливають на загальне розуміння питання.

3-5 балів отримують здобувачі вищої освіти, які не в повному обсязі володіють матеріалом, загалом правильно визначили сутність питання, однак недостатньо або поверхнево розкривши більшість його окремих положень і допустивши при цьому окремі помилки, які частково вплинули на загальне розуміння проблеми.

0-2 бали отримують здобувачі вищої освіти, які частково володіють навчальним матеріалом, фрагментарно та поверхнево розкрили лише окремі положення питання і допустили при цьому певні суттєві помилки, котрі значно вплинули на загальне розуміння питання.

Друге питання потребує короткої відповіді, котра розкриває сутність того чи іншого поняття або теоретичного положення (оцінюється від 0 до 15 балів).

11-15 балів отримують здобувачі вищої освіти, які повністю розкрили сутність поняття, дали його чітке визначення або проаналізували і зробили висновок з конкретного теоретичного положення.

7-10 балів отримують здобувачі вищої освіти, які правильно, але не повністю дали визначення поняття, або поверхнево проаналізували і зробили висновок з теоретичного положення.

3-6 бали отримують здобувачі вищої освіти, які правильно, але лише частково визначили те чи інше поняття або частково проаналізували і зробили висновок з теоретичного положення.

0-2 бали отримують здобувачі вищої освіти, які частково і поверхнево визначили те чи інше поняття або сформулювали висновок з теоретичного положення, допустивши неточності та помилки.

Третє завдання семестрового заліку представляє собою тест, що містить 15 запитань і оцінюється від 0 до 10 балів.

Правильних відповідей,%	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Бал	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

8. Критерії оцінювання результатів навчання

Формаконтролю	Максимальна кількість балів	
	Денна форма	Заочна форма
Виконання практичних робіт	10х5 балів = 50 балів	10х5 балів = 50 балів
Поточний модульних контроль	2х5 балів= 10 балів	2х5 балів= 10 балів
Підсумковий контроль	40 балів	40 балів
Всього	**100**	**100**

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90-100	A	відмінно
82-89	B	добре
74-81	C	
64-73	D	задовільно
60-63	E	
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни

9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна

1. Опорний конспект лекцій з дисципліни в електронному варіанті.
2. Методичні вказівки та завдання до виконання практичних робіт з дисципліни в електронному варіанті.

10. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. Силова перетворювальна техніка. Конспект лекцій. Навчальний посібник. / В.І. Сенько, К.В. Трубіцин, В.І. Чибеліс / КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022, 241 с.

2 Кириленко О.В., Жуйков В.Я., Денисюк С.П., Рибіна О.Б. Системи силової електроніки та методи їх аналізу. – К.: Текст, 2006. – 488 с.

3. Жуйков В.Я., Денисюк С.П. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами. – К.: Текст, 2010. – 264 с.

4. Силова електроніка в системах електропостачання: Практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. які навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньою програмою «Системи забезпечення споживачів електричною енергією»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.П. Денисюк, Д.Г. Дерев'янко, Г.С. Бєлоха. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 80 с. – https://ela.kpi.ua/handle/123456789/48138

5. Інвертори і перетворювачі частоти: монографія / Сенько В.І., Трубіцин К.В.,Чибеліс В.І. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2020. – 300 с.

Допоміжна література

1. Основи електроніки і перетворювальної техніки: Навчальний посібники / В.І.Костенко, О.О.Шавьолкін, О.М.Рак. За ред. В.І.Костенко. Д.: ДонНТУ, 2002. – 110 с

2. Шавьолкін О.О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: Навчальний посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 403 с.

3. Енергетична електроніка: навчальний посібник / О. О. Шавьолкін. – К.: КНУТД, 2017. – 396 с.

Інформаційні ресурси в Інтернет

1. Науково-прикладний журнал «Технічна електродинаміка». – Режим доступу: http://techned.org.ua/
2. Матеріали Товариства силової електроніки IEEE (IEEE Power Electronics society). – Режим доступу: https://www.ieee-pels.org/
3. Загальноєвропейський журнал у сфері силової електроніки (Power Electronics Europe). – Режим доступу: https://www.power-mag.com/