



141	Напівпровідникові перетворювачі електроенергії та керування ними	Сторінка 1 з 7
-----	--	----------------

### Силабус

По вивченню дисципліни «Напівпровідникові перетворювачі електроенергії та керування ними» для аспірантів, спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», Інститут електродинаміки НАН України

ЗАТВЕРДЖУЮ  
 Директор Інституту електродинаміки НАН України  
 д.т.н., проф., академік НАН України

  
 О. В. Кириленко  
 «    »    2019 р.



1) Назва дисципліни: Напівпровідникові перетворювачі електроенергії та керування ними		2) Шифр за ОПП: НЗК-3		
3) Карта дисципліни дійсна протягом навчального року: 2019/2020				
4) Освітній рівень: третій рівень вищої освіти (доктор філософії)				
5) Форма навчання: денна, заочна				
6) Галузь знань: 14 «Електрична інженерія»				
7) Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»				
8) Компонента спеціальності: нормативна				
9) Семестр: IV				
10) Цикл дисципліни: дисципліна професійної підготовки				
11) Викладачі (розробники карти): чл.-кор. НАН України, докт. техн. наук, проф. Михальський В.М.				
12) Мова навчання: українська				
13) Необхідні ввідні дисципліни: «Вища математика», «Загальна фізика», «Основи метрології та електричних вимірювань», «Обчислювальна техніка та програмування», «Електротехнічні матеріали», «Теоретичні основи електротехніки», «Силова електроніка».				
14) Мета курсу: Метою дисципліни є здобуття аспірантами глибоких знань з математичного і фізичного моделювання електротехнічних і електротехнологічних систем, які складаються із взаємопов'язаного комплексу електротехнічного й електротехнологічного обладнання, систем керування ними, засобів підвищення енергоефективності, ресурсозбереження, продуктивності та якості електроенергії на вході та виході перетворювачів.				
15) Результати навчання:				
№	Програмний результат навчання	Метод перевірки навчального ефекту	Форма проведення занять	Посилання на програмні компетентності
1	ПР01. Розуміти загальнонаукову філософську концепцію наукового світогляду, роль науки, пояснювати її вплив на суспільні процеси.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K01 K02
2	ПР02. Грамотно застосовувати державну мову як усно, так і письмово, для здійснення професійної діяльності.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K02 K09 K11

3	ПР03. Володіти іноземною мовою, включаючи спеціальну термінологію, для представлення та обговорення наукових результатів англійською або однією з мов країн Європейського Союзу в усній та письмовій формах, а також вести наукову дискусію.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K02 K09 K13
4	ПР04. Знати і розуміти сучасні методи ведення науково-дослідних робіт, організації та планування експерименту, комп'ютеризованих методів дослідження та опрацювання результатів вимірювань.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K02
5	ПР05. Знати і розуміти основні поняття теорії вимірювань, їх застосування на практиці та при комп'ютерному моделюванні об'єктів та явищ.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K02
6	ПР06. Уміти прогнозувати тенденції розвитку в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K01 K02
7	ПР07. Уміти виконувати аналіз інженерних продуктів, процесів і систем за встановленими критеріями, обирати і застосовувати найбільш придатні аналітичні, розрахункові та експериментальні методи для проведення досліджень, інтерпретувати результати досліджень.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K01 K02 K06
8	ПР08. Уміти проводити постановку, формулювання і вирішення завдань у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, що пов'язані з процедурами спостереження об'єктів, вимірювання, контролю, діагностування і прогнозування з урахуванням важливості соціальних обмежень (суспільство, здоров'я і безпека, охорона довкілля, економіка, промисловість тощо).	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K01 K02
9	ПР10. Уміти проектувати і розробляти інженерні продукти, процеси та системи	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K02
10	ПР12. Володіти сучасними методами та розробленими методиками проектування і дослідження, а також аналізу отриманих результатів.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K01
11	ПР13. Уміти організовувати і проводити технічні випробування інженерних продуктів.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K02

12	ПР14. Уміти оцінювати вплив підприємств електроенергетики, електротехніки та електромеханіки на навколишнє середовище та безпеку життєдіяльності людини.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K02
13	ПР15. Володіти сучасними методами теоретичних та експериментальних досліджень з оцінювання точності отриманих результатів вимірювань.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K02
14	ПР17. Володіти основами патентознавства та захисту інтелектуальної власності.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K01 K02
15	ПР18. Уміти дотримуватися принципів професійної етики та академічної доброчесності.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K06
16	ПР19. Уміти організувати спільну роботу з фахівцями з різних галузей в рамках наукових проектів.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K06
17	ПР20. Уміти формулювати основні психолого-педагогічні принципи та уміти викладати професійно-орієнтовані дисципліни з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K01
18	ПР21. Уміти аналізувати предметну область, формалізувати завдання керування та розділяти глобальну задачу на складові.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K01 K02
19	ПР22. Уміти розробляти техніко-економічне обґрунтування проектів з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки та оцінювати економічну ефективність їх впровадження.	Обговорення під час занять, тематичне дослідження	Лекція, практичні заняття	K05

#### 16) Форми занять та їх тривалість (кількість годин)

Лекція	Практичне заняття	Лабораторні заняття	Курсовий проект/ курсова робота РГР/Контрольна робота	Самостійні робота студента
48	24	-	Контрольна робота	48

#### Зміст: (окремо для кожної форми занять – Л/Пр/Лаб/ КР/СРС)

##### Лекція:

1. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії. призначення і класифікація
2. Випрямлячі і ведені мережею інвертори
3. Багатопульсні та багатофазні схеми випрямлення
4. Перетворювачі напруги
5. Автономні інвертори струму
6. Автономні інвертори напруги
7. Трифазні інвертори напруги
8. Багаторівневі інвертори напруги
9. Багаторівнева ШІМ
10. Багаторівневі інвертори з плаваючими конденсаторами

11. Активні випрямлячі
12. Перетворювачі частоти
13. Безпосередні перетворювачі частоти
14. Енергетичні показники перетворювальних пристроїв
15. Проблеми підвищення якості вихідної напруги і вхідного струму в перетворювачах частоти та напруги
16. Визначення основних показників для оцінки несинусоїдальності напруг і струмів на вході та виході напівпровідникових перетворювачів
17. Підвищення якості електроенергії автономних інверторів напруги засобами широтно-імпульсної модуляції
18. Неперервні модуляційні функції НШМ
19. Режим перемодуляції в АІН
20. Алгоритми широтно-імпульсної модуляції в матричних перетворювачах. формування струмів у системі "мережа живлення з несиметричними напругами – матричний перетворювач"
21. Компенсація "мертвого часу" перетворювачів частоти і напруги з ШМ для підвищення якості електроенергії в нижній частині діапазону регулювання вихідних параметрів
22. Стратегія формування просторового вектора вихідної напруги при малих значеннях його складових
23. Системи керування перетворювачами частоти та напруги на базі цифрових сигнальних контролерів. Дослідження методів керування на їх основі
24. Експериментальні дослідження перетворювачів частоти та напруги з широтно-імпульсною модуляцією

**Практичні заняття:**

1. Розрахунок теплових втрат в напівпровідникових ключових елементах перетворювачів електроенергії
2. Розрахунок теплових втрат в пасивних елементах напівпровідникових перетворювачів електроенергії
3. Моделювання імпульсних режимів роботи в системах генерування
4. Моделювання роботи систем керування багаторівневими інверторами. Широтно-імпульсна модуляція в системах керування багаторівневими інверторами
5. Моделювання роботи активних випрямлячів напруги з двосторонньою передачею енергії
6. Матричні перетворювачі частоти з ШМ
7. Сучасні низьковольтні перетворювачі частоти для електроприводів широкого призначення
8. Визначення умов для безаварійної комутації силових ключів матричних перетворювачів при значних спотвореннях напруг мережі живлення
9. Методи керування автономними інверторами напруги із застосуванням перервних модуляційних функцій
10. Критерії подібності у формуванні перервних підмодулюючих функцій
11. Дослідження побудови неперервних модуляційних функцій
12. Геометричний аспект вирішення проблеми "мертвого часу" у перетворювачах частоти з векторною широтно-імпульсною модуляцією

**Контрольна робота:****Самостійна робота студента:**

1. Структура силового напівпровідникового перетворювача.
2. Гармонічний склад випрямленої напруги та вхідного струму перетворювача.
3. Особливості роботи керованих випрямлячів.
4. Імпульсні перетворювачі на повністю керованих напівпровідникових ключах.
5. Області доцільного застосування автономних інверторів струму.
6. Формування вихідної напруги інвертора з використанням біполярної ШМ.
7. Формування вихідної напруги інвертора з використанням однополярної ШМ.
8. Дослідження багаторівневої ШМ.
9. Принципи роботи структур з фіксуєчими діодами.
10. Особливості роботи інверторів з плаваючими .

11. Активні випрямлячі напруги з двосторонньою передачею енергії.
12. Перетворювачі частоти і напруги.
13. Безпечна комутація струму ключами матричних перетворювачів.
14. Дослідження впливу перетворювачів на мережу живлення.
15. Паралельні та послідовні активні фільтри.
16. Зважені коефіцієнти гармонічних спотворень.
17. Особливості застосування перервних модуляційних функцій.
18. Визначення оптимальних амплітуд неперервних підмодуючих функцій.
19. Визначення коефіцієнтів гармонічних спотворень вихідної напруги в режимі перемодуляції.
20. Побудова циклів ШІМ в МП для здійснення безпечних комутацій змінного струму.
21. Стратегія формування просторового вектора вихідної напруги МП у нижній частині діапазону регулювання електропривода змінного струму.
22. Методи компенсації "мертвого часу" при відомому напрямку струму навантаження.
23. Модуль підтримки обчислень з плаваючою комою.
24. Принципи побудови та функціонування станції швидкого прототипного тестування.

**17) Іспит:** Так.

**18) Основна література:**

1. Шавьолкін О.О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: навч. посіб. / О. О. Шавьолкін. – Х.: ХНУМГім. О.М. Бекетова, 2015. – 403 с.
2. В.М. Михальський. Засоби підвищення якості електроенергії на вході і виході перетворювачів частоти та напруги з широтно-імпульсною модуляцією. – Київ, Інститут електродинаміки НАН України, 2013. – 340 с.
3. Holmes D.G. Pulse Width Modulation for Power Converters – Principle and Practice / D.G. Holmes, T.A. Lipo. – New York, USA // IEEE Series on Power Engineering, IEEE Press/Wiley InterScience, 2003. – 744 p.
4. Транзисторные преобразователи с улучшенной электромагнитной совместимостью / А.К. Шидловский, А.В. Козлов, Н.С. Кома-ров, Г.А. Москаленко. – К.: Наук. думка, 1993. – 271 с.
5. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р.Т. Шрейнер – Екатеринбург: УрО РАН, 2000. – 654 с.
6. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учеб. пособие / Г.С. Зиновьев – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2003. – 664 с.
7. Михальський В.М. Векторна широтно-імпульсна модуляція в матричних перетворювачах. Навчальний посібник / В.М. Михальський, В.М. Соколов, Е.М. Чехет. – Київ : Інститут електродинаміки НАН України, 2003. – 74 с.
8. Зиновьев Г.С. Прямые методы расчета энергетических показателей вентильных преобразователей / Г.С. Зиновьев – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 1990. – 220 с.
9. Чехет Э.М. Непосредственные преобразователи частоты для электропривода / Э.М. Чехет, В.П. Мордач, В.Н. Соколов – К.: Наук. думка, 1988. – 224 с.

**19) Додаткова література:**

1. Булатов О.Г. Автономные тиристорные инверторы с улучшенной формой выходного напряжения / О.Г. Булатов, В.И. Олещук. – Кишинев: Штиинца, 1980. – 113 с.
2. Тонкаль В.Е. Оптимальный синтез автономных инверторов с амплитудно-импульсной модуляцией / В.Е. Тонкаль, Э.Н. Гречко, Ю.Е. Кулешов – К.: Наук. думка, 1987. – 220 с.
3. Жемеров Г.Г. Тиристорные преобразователи частоты с непосредственной связью / Г.Г. Жемеров – М.: Энергия, 1977. – 280 с.
4. Калашников Б.Е. Системы управления автономными инверторами / Б.Е. Калашников, С.О. Кривицкий, И.И. Эпштейн – М.: Энергия, 1974. – 104 с.
5. Ромаш Э.М. Источники вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры / Э.М. Ромаш – М.: Радио и связь, 1981. – 224 с.
6. Джюджи Л. Силовые полупроводниковые преобразователи частоты: Теория, характеристики, применение / Л. Джюджи, Б. Пелли; Пер. с англ. Е.А. Бондырева. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 400 с.
7. Руденко В.С. Расчет устройств преобразовательной техники / В.С. Руденко, В.Я. Жуйков, И.Е. Коротеев. – Киев: Техніка, 1980. – 135 с.
8. Маевский О.А. Энергетические показатели вентильных преобразователей / О.А. Маевский – М.: Энергия, 1978. – 320 с.
9. Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение гармонических составляющих тока, создаваемых техническими средствами с потребляемым током более 16 А, но не более 75 А (в одной фазе), подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения общего назначения. Нормы и методы испытаний: ГОСТ Р 51317.3.12-2006. – Действующий от 2007-07-01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 20 с. – (Национальный стандарт Российской Федерации).
10. Пьяных Б.Е. Повышение качества энергии в преобразователях частоты с непосредственной связью / Б.Е. Пьяных, В.М. Михальский – К.: ИЭД, 1984. – 58 с. – (Препр. / АН УССР, Ин-т электродинамики; № 374).
11. Преобразователи переменного напряжения полупроводниковые. Общие технические требования: ГОСТ 28167-89. – Действующий от 1991-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 27 с. – (Межгосударственный стандарт).

**20) Робоче навантаження студента, необхідне для досягнення результатів навчання**

№	Форма занять	Кількість годин аудиторні/ СРС
1.	Лекція	48/32
2.	Практичне заняття	24/16
3.	Лабораторні заняття	-
4.	КП/КР/РГР/Контр.роб.	Контрольна робота
5.	Форма контролю	Залік
	Всього годин	72/48
<b>22) Сума всіх годин:</b>		120
<b>23) Загальна кількість кредитів ECTS</b>		4,0
<b>24) Кількість годин (кредитів ECTS) аудиторного навантаження:</b>		72 (2,4)


141	Напівпровідникові перетворювачі електроенергії та керування ними	Сторінка 7 з 7
-----	--	----------------

25) Кількість необхідних годин (кредитів ECTS) СРС для забезпечення аудиторного навантаження:	48 (1,6)
26) Кількість годин СРС (кредитів ECTS), забезпечених навчальним планом:	48 (1,6)
27) Примітки:	

Складено: д.т.н., проф., член-кор. НАН України, Михальський В.М.



**Затверджено:**  
гарант освітньо-наукової програми

 А. А. Щерба