

Затверджено  
рішенням вченої ради факультету  
Управління процесами перевезень  
прот. № 1 від 30.08.2019 р

Рекомендовано  
на засіданні кафедри управління  
експлуатаційною роботою,  
прот. № 1 від 27.08.2019 р.

## СИЛАБУС З ДИСЦИПЛІНИ

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

II семестр - I навчального року,  
I, II семестр - II навчального року

**Освітній рівень** третій (доктор філософії)  
**галузь знань** 27 Транспорт

**спеціальність** 275.02 Транспортні технології (на залізничному транспорті)

Час та аудиторія проведення занять: згідно індивідуального розкладу <http://kart.edu.ua/pidgotovka-nayk-kadriv-ua/prijom-do-aspiranturu-ua>

#### Команда викладачів:

Лектор: Плахтій О.А. (кандидат технічних наук, доцент), Контакти: +38(057) 730-10-89 e-mail: <a href="mailto:uermp@ukr.net">uermp@ukr.net</a>
Години прийому та консультацій: 13.00-14.00 вівторок – четвер Розміщення кафедри: Місто Харків, майдан Фейербаха, 7, корпус, 4 поверх, 139 аудиторія.
Веб-сторінки курсу: <a href="http://do.kart.edu.ua/">http://do.kart.edu.ua/</a> Додаткові інформаційні матеріали: <a href="http://metod.kart.edu.ua/last/process/">http://metod.kart.edu.ua/last/process/</a>

**Метою викладання навчальної дисципліни «дослідження енергетичних процесів в напівпровідникових перетворювачах електричного транспорту» є отримання аспірантами знань та практичних навичок щодо розробки та аналізу енергетичних процесів у напівпровідникових перетворювачах електрорухомого складу, а також принципи побудови мікропроцесорних систем керування.**

Розвиток нашої цивілізації нерозривно пов'язаний з розвитком електрики та електроніки. Все від мобільних гаджетів та електромобілів до тягових підстанцій та електровозів містить напівпровідникові електричні схеми, які працюють згідно зі спільними законами. Промислова електроніка в наш час є дуже цікавою областю знань, яка має реальний попит на ринку праці.

Про що саме буде цей курс???

Електроніка є дуже широкою областю знань, яку умовно можна поділити силову електроніку (напівпровідникові перетворювачі) та слаботочну електроніку (аналогові та мікропроцесорні системи керування).

Силова електроніка дозволить вам зрозуміти, як перетворювати електричну енергію. Наприклад, як можна перетворити постійну напругу в трифазну змінну напругу? Як перетворити змінну напругу в постійну напругу? Як та регулювати та стабілізувати напругу на навантаженні при умові пульсацій та відхилення напруги живлення? Які показники напівпровідникових перетворювачів є важливими і як їх можна покращити?? На ці та багато інших питань відповідь частина «напівпровідникові перетворювачі».

Курс має на меті сформувати та розвинути наступні компетентності студентів:

**1. Ціннісно-смыслову компетентність формування та розширення світогляду студента в області промислової електроніки, здатність до розуміння важливості використання напівпровідникових перетворювачів та впливу перетворювальної техніки на загально технічний розвиток;**

**2. Загальнокультурну компетентність (розуміння впливу розвитку промислової електроніки на розвиток нашої цивілізації);**

**3. Навчально-пізнавальну компетентність (формування у студента зацікавленості про стан та перспективи промислової електроніки на напівпровідникових перетворювачів електроенергії; інформації щодо принципів роботи напівпровідникових приладів та схем; оволодіння роботи на паяльнику; здатність студента проводити імітаційне моделювання роботи електричних схем; формувати цілі дослідження та, з метою їх вирішення, вміння знаходити рішення)**

**4. Інформаційну компетентність (розвиток вмінь студента до самостійного пошуку, аналізу, структурування та відбору потрібної інформації в області промислової електроніки на напівпровідникових перетворювачів електроенергії за допомогою сучасних інформаційних технологій)**

**5. Комунікативну компетентність (розвиток у студента навичок роботи в команді шляхом реалізації групових проєктів в області промислової електроніки на напівпровідникових перетворювачів електроенергії, вміння презентувати власний курсовий проєкт – жива, робота електрична схема, зроблена студентом);**

**6. Компетентність особистісного самовдосконалення (елементи фізичного, духовного й інтелектуального саморозвитку, емоційної саморегуляції та самопідтримки; підтримка постійної жаги до самовдосконалення та самопізнання, шляхом постійного пошуку нетрадиційних підходів до проблеми енергетичної безпеки держави).**

## Чому ви маєте обрати цей курс?

### Дисертаційні дослідження.

Якщо в ваших дисертаційних дослідженнях вам необхідно провести дослідження електричних процесів, що протікають в напівпровідникових перетворювачах електрорухомого складу, тоді ця дисципліна вам допоможе.

### Співпраця з приватними підприємствами та укрзалізницею в області перетворювальної техніки.

Значна частина підприємств Харкова працює в сфері розробки електронних пристроїв: НПО ВЕРТИКАЛЬ, ВО ОВЕН, КІАТОН, СТАЛЬ ЕНЕРГО, ХАРТРОН, ЕЛАКС, ЕОС та багато інших підприємств. Глибокі теоретичні знання та практичні навички в сфері промислової електроніки та перетворювальної техніки дозволяють реалізовувати

## Огляд курсу

Цей курс, який вивчається протягом трьох семестрів (I курс – 2 семестр, II курс – 1 та 2 семестри) дає аспірантам глибоке розуміння застосування основних наукових методів оптимального управління транспортними системами і технологіями, зокрема на залізничному транспорті, та при взаємодії з іншими видами транспорту.

Курс складається з однієї лекції та п'яти практичних занять на семестр протягом трьох семестрів. Він супроводжується текстовим матеріалом, презентаціями та груповими завданнями. Аспіранти матимуть можливість застосовувати отримані знання та вирішувати практичні завдання шляхом обговорень в аудиторії для виконання кваліфікаційної роботи з імітаційного моделювання.

### Методи оптимізації транспортних систем / схема курсу

<b>Поміркуй</b>	Лекції	<b>Виконай</b>
	Довідковий матеріал	
	Презентації	
	Обговорення в аудиторії	
	Групові завдання	
	Допомога у виконанні кваліфікаційної дисертаційної роботи	
	Індивідуальні консультації	
	Он-лайн обговорення (форум у соціальних мережах)	
	Іспит	

Практичні заняття курсу передбачають розробку комп'ютерних моделей тягових підстанцій, електричної мережі, електрорухомого складу та інших об'єктів дослідження, пов'язаних з дисертаційними дослідженнями. Дисципліна фіналізується контрольними заходами (залік у кожному семестрі). Виконання завдань супроводжується посиланнями на суміжні дисципліни, що доповнюють теми, та формує у аспіранта інноваційну, інформаційну та комунікативну компетентності.

## Ресурси курсу

Інформація про курс розміщена на сайті Університету (<http://kart.edu.ua/pidgotovka-nayk-kadriv-ua/prijom-do-aspirantyru-ua> ), включаючи необхідні методичні матеріали, презентації та правила оцінювання курсу)

Додатковий матеріал та посилання на електронні ресурси доступні на сайті Університету у розділі Дистанційне навчання <http://do.kart.edu.ua/course/view.php?id=1454> поряд із питаннями, над якими необхідно поміркувати під час підготовки для обговорення в аудиторії. Необхідна підготовка повинна бути завершена до початку лекції або практичного заняття. Під час обговорення ми запропонуємо вам критично поміркувати над тим, як використовуються методи оптимізації транспортних систем для формування автоматизованих інтелектуальних технологій для залізничного транспорту. Ви повинні вміти проводити дискусії та мозкові штурми – ми хочемо знати, що ви думаєте!

Інтернет ресурси присвячені перетворювальній техніці:

- <https://matlab.ru/>
- <http://matlab.exponenta.ru/>
- <https://exponenta.ru/>
- <https://habr.com/ru/hub/matlab/>

## Теми лекцій курсу

**Змістовний модуль 1 (2 сем. 1 року навчання).** Базові схеми та алгоритми модуляції в напівпровідникових перетворювачах

**Тема 1.** Базові схеми та алгоритми модуляції в напівпровідникових перетворювачах

**Змістовний модуль 2 (1 сем. 2 року навчання).** Визначення втрат потужності в напівпровідникових перетворювачах та шляхи підвищення їх енергоефективності

**Тема 2.** Визначення втрат потужності в напівпровідникових перетворювачах та шляхи підвищення їх енергоефективності

**Змістовний модуль 3 (2 сем. 2 року навчання).** Дослідження показників енергоефективності систем електричного транспорту на імітаційних моделях

**Тема 3.** Дослідження показників енергоефективності систем електричного транспорту на імітаційних моделях

## Практичні заняття

№ з/п	Назва теми
1	<b>Тема 1.</b> Енергетичні характеристики силових діодів. Принцип дії, та види напівпровідникових діодів: класичні діоди, діоди Шотки, стабілітрони, супресори, TVS-діоди. Вольт-амперні характеристики та призначення вказаних видів діодів. Визначення втрат потужності в напівпровідникових діодах.
2	<b>Тема 2.</b> Схеми напівпровідникових випрямлячів. Класифікація напівпровідникових випрямлячів. Схеми однофазних напівмостових та повномостових напівпровідникових перетворювачів. Особливості протікання фізичних процесів при наявності ємнісного та індуктивно-ємнісного фільтру у випрямлячах.

3	<p><b>Тема 3.</b> Трифазні напівпровідникові випрямлячі.</p> <p>Силовa схема та фізичні процеси трифазного шостипульсного випрямляча за схемою Ларіонова. Силовa схема та фізичні процеси трифазного дванадцятипульсного випрямляча. Спектр вищих гармонік вхідного струму та вихідної напруги випрямлячів.</p>
4	<p><b>Тема 4.</b> Енергетичні характеристики тиристорів.</p> <p>Принцип дії, вольт-амперна характеристика та фізичні процеси, що протікають в напівпровідникових тиристорах. Особливості роботи одноопераційних та двоопераційних тиристорів. Особливості роботи GTO-тиристорів.</p>
5	<p><b>Тема 5.</b> Тиристорні випрямлячі.</p> <p>Однофазні та трифазні напівпровідникові тиристорні перетворювачі. Система імпульсно-фазового керування. Регульовальна характеристика. Визначення залежності вихідної напруги та коефіцієнта гармонійних спотворень вхідного струму від кута керування.</p>
6	<p><b>Тема 6.</b> Електромагнітна сумісність напівпровідникових перетворювачів та параметри якості електроенергії.</p> <p>Визначення поняття та сутності електромагнітної сумісності основні міжнародні стандарти, що регламентують вимоги до спектрів вищих гармонік вхідних струмів. Визначення показників якості електричної енергії.</p>
7	<p><b>Тема 7.</b> Електричні фільтри.</p> <p>Визначення поняття фільтрації в напівпровідникових фільтрах. Класифікація та особливості фільтрів амплітудно-частотних характеристик фільтрів: вищих частот, нижчих частот, режекторних фільтри, полосових фільтрів.</p>
8	<p><b>Тема 8.</b> MOSFET, IGBT</p> <p>Принцип дії, та види напівпровідникових транзисторів: біполярні транзистори, польові транзистори, MOSFET, IGBT. Вольт-амперні характеристики та призначення вказаних видів транзисторів. Визначення статичних та динамічних втрат потужності в напівпровідникових транзисторах.</p>
9	<p><b>Тема 9.</b> Особливості роботи біполярних транзисторів.</p> <p>Принципи роботи підсилювальних схем з біполярними транзисторами на основі схем з загальним емітером, загальною базою та загальним колектором. Підсилювання за струмом, напругою та потужністю.</p>
10	<p><b>Тема 10.</b> Особливості роботи польових транзисторів.</p> <p>Особливості роботи малопотужних польових транзисторів. Підсилювальні схеми на основі польових транзисторів.</p>
11	<p><b>Тема 11.</b> Потужні напівпровідникові транзистори в ключових режимах.</p> <p>Особливості роботи потужних MOSFET та IGBT транзисторів. Характеристики комутації за струмом та потужністю. Поняття драйвера силового транзистора.</p>
12	<p><b>Тема 12.</b> Імпульсний напівпровідниковий перетворювачі понижуючого типу.</p> <p>Силовa схема, принцип дії, система керування та фізичні процеси, що протікають в напівпровідниковому імпульсному перетворювачу понижуючого типу.</p>
13	<p><b>Тема 13.</b> Імпульсний напівпровідниковий перетворювачі підвищуючого типу.</p>

	Силова схема, принцип дії, система керування та фізичні процеси, що протікають в напівпровідниковому імпульсному перетворювачу підвищуючого типу.
14	<b>Тема 14.</b> Класифікація інверторів. Класифікація інверторів: автономні інвертори струму та напруги, інвертори керовані мережею. Схеми однофазних напівмостових та повномостових напівпровідникових інверторів. Принцип синусоїдальної широтно-імпульсної модуляції. Особливості протікання фізичних процесів при наявності резистивної та резистивно-індуктивного навантаження.
15	<b>Тема 15.</b> Однофазні та трифазні автономні інвертори напруги. Силова схема та фізичні процеси трифазного автономного інвертора напруги. Система керування на базі однократної модуляції. Система керування на базі широтно-імпульсної модуляції. Спектр вищих гармонік вхідного струму та вихідної напруги інвертора.

### Самостійна робота

№ з/п	Назва теми
1	Опрацювання лекційного матеріалу
2	Підготовка практичних робіт
3	Підготовка до лабораторних робіт
4	Підготовка та складання модулів, тестів, іспиту і заліку з курсу
5	Виконання індивідуальних завдань (контрольна робота)
6	Опрацювання окремих розділів програми, які не викладаються на лекціях

## Заплановані результати навчання

**Мета** викладання навчальної дисципліни «Дослідження енергетичних процесів в напівпровідникових перетворювачах електричного транспорту» є отримання аспірантами знань і практичних навичок в області створення силових напівпровідникових перетворювачів в системах електрорухомого складу.

Завдання вивчення дисципліни:

- створення імітаційних моделей фізичних об'єктів на систем диференційних рівнянь, які описують роботу цих об'єктів;
- оволодіння теоретичними основами методів аналізу в Matlab/Simulink, а саме: аналіз статичних режимів та перехідних процесів в електричних та механічних системах, частотно-гармонійний аналіз сигналів, аналіз та синтез систем автоматичного регулювання та інші.
- набуття практичних навичок оволодіння програмними продуктами Matlab/Simulink та NI Multisim, необхідними для проведення.

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

**знати:**

- силові схеми напівпровідникових перетворювачах;
- алгоритми модуляції в напівпровідникових перетворювачах;
- принципи побудови систем автоматичного керування напівпровідникових перетворювачах ЕРС;
- базові принципи імітаційного моделювання напівпровідникових перетворювачів в Matlab;

**вміти:**

- виконувати розрахунки номіналів елементів електричних схем напівпровідникових перетворювачів;
- визначати втрати потужності в напівпровідникових перетворювачах;
- створювати імітаційні моделі енергетичних та електромеханічних систем електричного транспорту;
- проводити дослідження електричних процесів: отримувати перехідні процеси, проводити Фур'є-аналіз струмів та напруги;
- проводити синтез систем автоматичного регулювання та проводити дослідження їх стійкості;
- оцінювати втрати потужності в електромеханічних системах;
- оцінювати завадоємісію ЕРС до контактної мережі та систем СЦБ;

**мати уявлення:** про передові можливості напівпровідникових перетворювачів в електромеханічних системах.

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 150 годин/ 5,0 кредитів ECTS.

**знаходити** та аналізувати потрібну наукову інформацію в галузі імітаційного моделювання з метою удосконалення систем електричного транспорту.

**вміти вести дискусію** на наукових конференціях та симпозіумах та представляти власні проекти або кваліфікаційну роботу як цілісну структуру.

**набути** вміння до системного креативного мислення щодо генерації можливих ідей.

## Правила оцінювання

При заповненні заліково-екзаменаційної відомості та залікової книжки (індивідуального навчального плану) аспіранта, оцінка, виставлена за 100-бальною шкалою, повинна бути переведена до національної шкали (5, 4, 3,) та шкали ECTS (A, B, C, D, E)

Визначення назви за державною шкалою(оцінка)	Визначення назви за шкалою ECTS	За 100 бальною шкалою	ECTS оцінка
ВІДМІННО – 5	<b>Відмінно</b> – відмінне виконання лише з	90-100	A

	незначною кількістю помилок		
ДОБРЕ – 4	<b>Дуже добре</b> – вище середнього рівня з кількома помилками	82-89	B
	<b>Добре</b> – в загальному правильна робота з певною кількістю грубих помилок	75-81	C
ЗАДОВІЛЬНО - 3	<b>Задовільно</b> - непогано, але зі значною кількістю недоліків	69-74	D
	<b>Достатньо</b> – виконання задовольняє мінімальні критерії	60-68	E
НЕЗАДОВІЛЬНО - 2	<b>Незадовільно</b> – потрібно попрацювати перед тим як отримати залік (без повторного вивчення модуля)	35-59	FX
	<b>Незадовільно</b> - необхідна серйозна подальша робота (повторне вивчення модуля)	<35	F

#### Відвідування лекцій:

Бали за цю складову не нараховуються взагалі, якщо аспірант не відвідував більш 50% лекційних занять у модулі без поважних причин. **Максимальна сума становить 10 балів.**

#### Практичні заняття:

Оцінюються за відвідуваннями та стислою презентацією виконаного завдання. **Максимальна сума становить 25 балів.**

#### Ступінь залученості:

Мета участі в курсі – залучити вас до дискусії, розширити можливості навчання для себе та своїх однолітків та дати вам ще один спосіб перевірити свої погляди на питання щодо алгоритмів модуляції в напівпровідникових перетворювачах електрорухомого складу, застосування сучасних засобів та методів наукового дослідження. Участь буде оцінюватися на основі кількості та вірності ваших відповідей. Питання, хоча й заохочуються, однак не оцінюються в цьому блоці. Ми намагаємося надати всім аспірантам рівні та справедливі можливості для підвищення власної залученості. **Максимальна сума становить 10 балів.**

#### Завдання на самостійну роботу:

Здобувачам (аспірантам) відповідно до обраної теми кваліфікаційної роботи пропонується визначити ступінь використання тематики дисципліни «Методи оптимізації транспортних систем». За вчасне та вірне виконання цього завдання нараховується до **15 балів** до поточного контролю.

#### Залік:

- Аспірант отримує оцінку за залік на підставі поточного контролю шляхом накопичення балів. Максимальна кількість балів, яку може отримати аспірант становить 100 (до 60 балів поточного контролю та до 40 балів під час заліку). Якщо аспірант не погоджується із запропонованими балами, він може підвищити їх на заліку, відповівши на питання викладача (<http://do.kart.edu.ua/course/view.php?id=1454>)

#### **Викладач:**

**Плахтій Олександр Андрійович**



(<https://scholar.google.com.ua/citations?user=84HNDxoAAAAJ&hl=ru>, <http://kart.edu.ua/kafedra-etem-ua/kolectuv-kafedru-aset-ua?id=2714>) - лектор, доцент кафедри «Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка» УкрДУЗТ. Кандидат технічних наук (2016 р., спеціальність 05.09.12 “Напівпровідникові перетворювачі електроенергії”, УкрДУЗТ), Напрямок наукової діяльності: напівпровідникові перетворювачі електроенергії, інтелектуальні системи електропостачання, адаптивні системи автоматичного регулювання.

### **Кодекс академічної доброчесності**

Порушення Кодексу академічної доброчесності Українського державного університету залізничного транспорту є серйозним порушенням, навіть якщо воно є ненавмисним. Кодекс доступний за посиланням: <http://kart.edu.ua/documentu-zvo-ua>

Зокрема, дотримання Кодексу академічної доброчесності УкрДУЗТ означає, що вся робота на іспитах та заліках має виконуватися індивідуально. Під час виконання самостійної роботи аспіранти можуть консулюватися з викладачами та з іншими аспірантами, але повинні самостійно розв’язувати завдання, керуючись власними знаннями, уміннями та навичками. Посилання на всі ресурси та джерела (наприклад, у звітах, самостійних роботах чи презентаціях) повинні бути чітко визначені та оформлені належним чином. У разі спільної роботи з іншими аспірантами над виконанням індивідуальних завдань, ви повинні зазначити ступінь їх залученості до роботи.

### **Інтеграція аспірантів із обмеженими можливостями**

Вища освіта є провідним чинником підвищення соціального статусу, досягнення духовної, матеріальної незалежності і соціалізації молоді з обмеженими функціональними можливостями й відображає стан розвитку демократичних процесів і гуманізації суспільства.

Доступ до матеріалів дистанційного навчання з цього курсу можна знайти за посиланням: <http://do.kart.edu.ua/>

Для інтеграції аспірантів із обмеженими можливостями в освітній процес Українського державного університету залізничного транспорту створена система дистанційного навчання на основі сучасних педагогічних, інформаційних, телекомунікаційних технологій.