

# УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Затверджено на засіданні кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки протокол № 1 від 15.09.2023 р.



## Силабус з дисципліни **СИЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА ЕЛЕКТРОВОЗІВ ТА ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Галузь знань – 27 «Транспорт»

Спеціальність – 273 «Залізничний транспорт»

Освітня програма – «Електровози та електропоїзди»

Час та аудиторія проведення занять – згідно розкладу занять <http://rasp.kart.edu.ua>

Команда викладачів:

<b>Лектори:</b> Семененко Олександр Іванович, кандидат технічних наук, доцент <b>Веб-сторінка:</b> <a href="http://kart.edu.ua/kafedra-etem-ua/kolectuv-kafedru-aset-ua?id=2640">http://kart.edu.ua/kafedra-etem-ua/kolectuv-kafedru-aset-ua?id=2640</a> <b>Контакти:</b> тел.:+38 (057) 730-10-74; e-mail: <a href="mailto:semenenko_oi@i.kart.edu.ua">semenenko_oi@i.kart.edu.ua</a>
<b>Асистент лектора:</b> Одегов Микола Миколайович, старший викладач <b>Веб-сторінка:</b> <a href="http://kart.edu.ua/kafedra-etem-ua/kolectuv-kafedru-aset-ua?id=2774">http://kart.edu.ua/kafedra-etem-ua/kolectuv-kafedru-aset-ua?id=2774</a> <b>Контакти:</b> тел.:+38 (057) 730-10-74; e-mail: <a href="mailto:odegov@kart.edu.ua">odegov@kart.edu.ua</a>
<b>Години прийому та консультацій:</b> 12.30-13.30 вівторок - четвер
<b>Веб-сторінка курсу:</b> <a href="http://kart.edu.ua/kafedra-etem-ua/perelik-osnovnikh-distsiplin-kafedri-aset-ua">http://kart.edu.ua/kafedra-etem-ua/perelik-osnovnikh-distsiplin-kafedri-aset-ua</a>
<b>Додаткові інформаційні матеріали:</b> <a href="http://metod.kart.edu.ua">http://metod.kart.edu.ua</a>

Викладання навчальної дисципліни має на меті засвоєння вами теорії та практики проектування, побудови, експлуатації тягових силових перетворювачів, систем керування, режимів їхньої роботи та методів їх розрахунку. При цьому ви будете залучені до розгляду не лише схем існуючих силових перетворювачів, які застосовуються в системах тягового електроприводу залізничного, промислового та міського електротранспорту, а й перспективних, що побудовані на базі сучасних силових швидкодіючих напівпровідникових приладів IGBT, MOSFET та IGCT. Основним завданням вивчення дисципліни є підготовка випускника до самостійної роботи з розробки, проектування, обслуговування та ремонту сучасних енергоефективних силових напівпровідникових перетворювачів для систем тягового електроприводу залізничного, промислового та міського електротранспорту. По

закінченню освоєння курсу ви, як магістри з електромеханіки, будете володіти широким спектром інформації про основні напрямки та перспективи застосування силових перетворювачів в системах тягового електроприводу залізничного, промислового та міського електротранспорту; ви зможете компетентно формулювати вимоги до тягових силових перетворювачів, аналізувати можливості забезпечення ними основних показників якості електричної енергії живлення тягових двигунів, оцінювати технічний рівень реалізації перетворювачів та перспективи їх удосконалення.

## Компетентності курсу

**Курс дисципліни має на меті сформувати наступні компетентності студентів:**

- 1. Ціннісно-сміслову компетентність** (формування та розширення світогляду студента в області напівпровідникових силових перетворювачів електричної енергії, здатність до розуміння важливості використання сучасних енергоефективних систем тягового електроприводу залізничного, промислового та міського електротранспорту та мінімізації негативного впливу рухомого складу на навколишнє середовище);
- 2. Загальнокультурну компетентність** (розуміння культурних, історичних та регіональних особливостей, що склалися в Україні та за її межами в галузі перетворення електричної енергії в енергоефективних системах тягового електроприводу залізничного, промислового та міського електричного транспорту);
- 3. Навчально-пізнавальну компетентність** (формування у студента зацікавленості про стан та перспективи розвитку силових перетворювачів електричної енергії, проблеми їх використання з метою розвитку креативної складової компетентності; оволодіння навичками вимірювання основних показників якості електричної енергії; здатність студента формувати цілі дослідження та вміння знаходити рішення у нестандартних ситуаціях в контексті реалізації енергоефективних систем тягового електроприводу залізничного, промислового та міського електричного транспорту України)
- 4. Інформаційну компетентність** (розвиток вмінь студента до самостійного пошуку, аналізу, структурування та відбору потрібної інформації в області проектування та застосування силових статичних перетворювачів електричного транспорту за допомогою сучасних інформаційних технологій)
- 5. Комунікативну компетентність** (розвиток у студента навичок роботи в команді шляхом реалізації групових проектів в області тягових силових перетворювачів електричного транспорту, вміння презентувати власний проект та кваліфіковано вести дискусію у досліджуваній сфері);
- 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 проблем створення сучасних тягових перетворювачів енергії для систем тягового електроприводу залізничного, промислового та міського електричного транспорту).

## Чому ви маєте обрати цей курс?

Якщо вас цікавить проектування та застосування сучасних напівпровідникових перетворювачів електричної енергії, що використовуються в системах тягового електроприводу залізничного, промислового та міського електричного транспорту, вам потрібно саме це!

Від здобувачів очікується: базове розуміння фізики, електротехніки, основ промислової електроніки, а також обізнаність в основних питаннях електроприводу залізничного, промислового та міського електричного транспорту.

Перша частина курсу присвячена використанню тягових перетворювачів на базі некерованих та керованих випрямлячів, які застосовуються в системах тягового електроприводу для живлення колекторних тягових двигунів пульсуючого струму залізничного та промислового електричного транспорту, та перспективних систем на базі випрямлячів із ШІМ (активних випрямлячів). Друга частина курсу охоплює аналіз схемотехнічних рішень та особливостей застосування широтно-імпульсних перетворювачів, автономних інверторів та перетворювачів частоти для систем тягового електроприводу електричного транспорту України.

Команда викладачів і ваші колеги будуть готові надати будь-яку допомогу з деякими з найбільш складних аспектів курсу по електронній пошті, на форумі і під час особистого спілкування у робочий час.

## Огляд курсу

Цей курс, який вивчається з вересня по грудень, дає студентам глибоке розуміння будови та принципів дії напівпровідникових випрямлячів, широтно-імпульсних перетворювачів, автономних інверторів та перетворювачів частоти, призначених для роботи в системах тягового електроприводу електричного транспорту.

Курс складається з однієї лекції на тиждень і одного практичного заняття на тиждень. Він супроводжується текстовим матеріалом, презентаціями та груповими та індивідуальними завданнями. Студенти матимуть можливість застосовувати отримані знання та вирішувати практичні завдання протягом обговорень в аудиторії та розробки курсової роботи силових перетворювачів для систем тягового електроприводу електричного транспорту.

### Силова електроніка електровозів та електропоїздів / схема курсу

<b>Поміркуй</b>	Лекції	<b>Виконай</b>
	Запрошені лектори	
	Довідковий матеріал	
	Групові та індивідуальні презентації	
	Обговорення в аудиторії	
	Курсова робота	
	Екскурсії	
	Індивідуальні консультації	
	Онлайн форум	
	Іспит	

Практичні заняття курсу поряд з освоєнням елементної бази перетворювачів та методів їх розрахунку передбачають засвоєння методики виконання курсових проектів силових перетворювачів для систем тягового електроприводу електричного транспорту та презентацію власних проектів в кінці курсу. Виконання завдання супроводжується зануренням у суміжні дисципліни і формує у студента інформаційну та комунікативну компетентності. Перебіг поточного виконання завдання та питання для обговорення надсилаються на e-mail викладача або перевіряються ним особисто.

## Ресурси курсу

Інформація про курс дисципліни розміщена на сайті Університету (<http://kart.edu.ua/mat-po-fak-ua/mat-fak-meh-ua>), включаючи навчальний план, лекційні матеріали, презентації, завдання та правила оцінювання курсу).

Додатковий матеріал та посилання на електронні ресурси доступні на сайті Університету поряд із питаннями, над якими необхідно поміркувати під час підготовки для обговорення в аудиторії. Необхідна підготовка повинна бути завершена до початку наступної лекції.

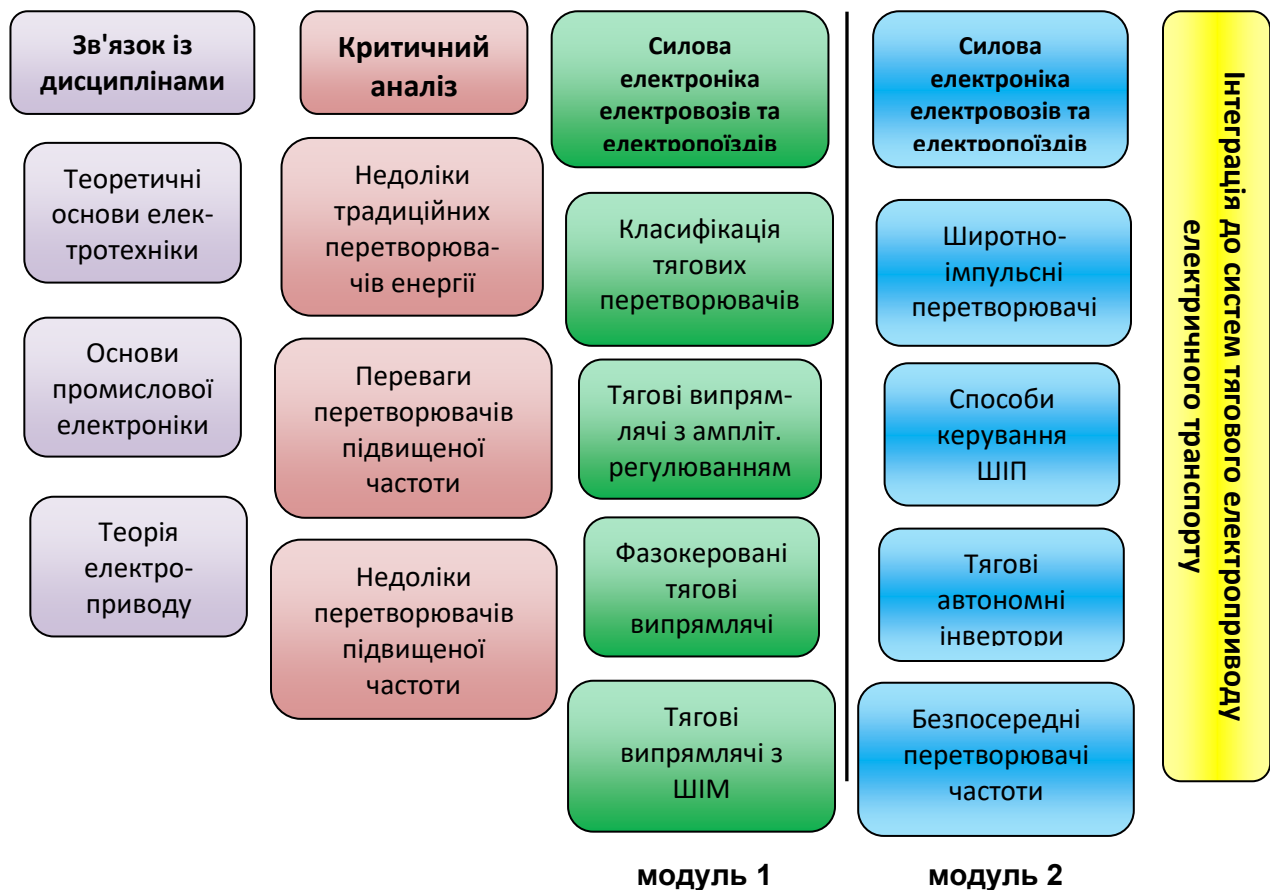
При обговоренні ми запропонуємо вам критично поміркувати над тим, де та на скільки ефективно використовуються тягові силові перетворювачі систем електроприводу електричного транспорту в Україні та в інших країнах.

Ви повинні бути готовими до дискусій та мозкових штурмів – ми хочемо знати, що ви думаєте!

Приклади питань для обговорення доступні на слайдах відповідних презентацій. Ось деякі з них:

- 1) Які потенційні або реалізовані екологічні, економічні та технічні наслідки використання сучасних статичних перетворювачів систем тягового електроприводу електричного транспорту?
- 2) Яка нормативно-правова документація та законодавчі акти існують у сфері показників якості електричної енергії в системах електропостачання та електроприводу електричного транспорту?
- 3) Яким чином покращити енергоефективність одного з найбільших споживачів енергії – залізничного електротранспорту України? Які економічні та технічні наслідки будуть у разі неприйняття таких заходів?
- 4) Якими будуть ваші рекомендації та ваше бачення ефективного застосування статичних перетворювачів електричної енергії в системах тягового електроприводу електричного транспорту?

## Теми курсу



## Лекції та практичні заняття

Список лекцій курсу наведений нижче.

Тиж-день	Кільк. годин	Тема лекції	Кільк. годин	Тема практичних занять
1	2	<b>Тема 1.</b> Дисципліна СЕЕЕ, класифікація тягових перетворювачів. Різновиди силових ключів та види їх комутації.	2	Елементна база статичних перетворювачів: силові діоди і тиристори. Двоопераційні тиристори GTO та IGCT.
2	2	<b>Тема 2.1</b> Некеровані випрямлячі, основні схеми. Тягові випрямлячі, їх характеристики при кінцевих значеннях опорів $X_k$ і $X_d$ .	2	Елементна база статичних перетворювачів: силові біполярні та польові транзистори, IGBT.
3	2	<b>Тема 2.2</b> Найпростіша схема тягового випрямляча ЕРС змінного струму з амплітудним регулюванням.	2	Визначення основних параметрів тягового інвертора напруги. Вибір ключів для тягових інверторів.
4	2	<b>Тема 2.3</b> Схеми тягових випрямлячів з несиметричним та симетричним навантаженням трансформатора.	2	Тепловий розрахунок силових ключів. Методи охолодження силових ключів тягових перетворювачів.
5	2	<b>Тема 3.1</b> Фазове керування тяговим випрямлячем. Тягові випрямлячі з амплітудно-фазовим регулюванням.	2	Подільники напруги та струму на силових приладах, захисні пристрої – снабери.
6	2	<b>Тема 3.2</b> Випрямно-інверторні установки ЕРС змінного струму. Випрямні установки ТП.	2	Елементна база статичних перетворювачів: трансформатори, дроселі, конденсатори.
7	2	<b>Тема 4.</b> Тягові випрямлячі з ШІМ. Вхідний чотириквADRантний перетворювач ЕРС змінного струму.	2	Розрахунок вхідного чотириквADRантного перетворювача.
<b>Модульний контроль №1</b>				
8	2	<b>Тема 5.</b> Широтно-імпульсні перетворювачі. Регулювання напруги ТЕД постійного струму. Пульсації струму та напруги.	2	Формувачі імпульсів керування силовими тиристорами та транзисторами.
9	2	<b>Тема 6.1</b> Способи керування ШІП. Оборотні, багатофазні та реверсивні ШІП.	2	Розрахунок тягового ШІП для приводів постійного та змінного струмів.
10	2	<b>Тема 6.2</b> Широтно-імпульсне регулювання струму збудження.	2	Розрахунок фільтрів для тягових перетворювачів.
11	2	<b>Тема 7.1</b> Тягові АІ та їх класифікація. Автономні інвертори напруги. Регулювання частоти і напруги.	2	Розрахунок інвертора напруги з синусоїдалною ШІМ.
12	2	<b>Тема 7.2</b> Трирівневі тягові автономні інвертори напруги.	2	Визначення основних параметрів перетворювача джерела бортового електроживлення ЕРС.
13	2	<b>Тема 7.3</b> Інвертор струму з відсічними діодами. Застосування автономних інверторів на ЕТ.	2	Визначення параметрів фільтрів перетворювача джерела бортового електроживлення.
14	2	<b>Тема 8.1</b> Безпосередні перетворювачі частоти для тягового електроприводу.	2	Конструкції та методи забезпечення теплової та електромагнітної сумісності ТСП.

Модульний контроль №2				
15	2	Тема 8.2 Матричні безпосередні перетворювачі частоти.	2	Захист ключів тягових перетворювачів від перенапруг КМ та струмів КЗ.
Іспит с дисципліни				

## Правила оцінювання

При заповненні заліково-екзаменаційної відомості та залікової книжки (індивідуального навчального плану) студента, 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 незначною кількістю помилок	90-100	A
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

### Завдання на самостійну роботу поза курсовою роботою:

Студентам пропонується обрати один з 8 варіантів тем для створення власного проекту або запропонувати тему викладачу самостійно впродовж семестру. За вчасне та вірне виконання завдання нараховується **20 балів до поточного модульного контролю**. За невчасне та частково вірне виконання – від 5 до 15 балів. За невиконане завдання бали не нараховуються. Необхідний обсяг виконання завдання складає 50% на перший модульний контроль і 100% на другий модульний контроль. Перебіг поточного виконання завдання та питання для обговорення надсилаються на e-mail викладача або перевіряються ним особисто.

Студенти мають прорецензувати одну роботу іншого студента або групи впродовж семестру та висловити свої критичні зауваження.

Теми завдань на самостійну роботу поза курсовою роботою	
1	Стратегія ПАТ Укрзалізниця по підвищенню енергоефективності використання електричної енергії застосуванням засобів силової перетворювальної техніки.
2	Використання інверторно-випрямних агрегатів у системах тягового електроприводу залізничного, промислового та міського електротранспорту.

3	Високоєфективні випрямлячі з ШІМ (активні випрямлячі) тягових перетворювачів ЕРС змінного струму.
4	Використання тягових інверторів напруги у системах тягового електроприводу ЕРС змінного струму.
5	Застосування активних фільтрів на ЕРС постійного струму.
6	Застосування активних фільтрів на ЕРС змінного струму.
7	Використання тягових інверторів напруги у системах тягового електроприводу ЕРС постійного струму.
8	Використання безпосередніх перетворювачів частоти у системах тягового електроприводу ЕРС змінного струму.

#### Відвідування лекцій:

Бали за цю складову нараховуються взагалі, якщо студент не відвідував більше 50 % лекційних занять у модулі без поважних причин. За відвідування кожної лекції нараховується 1 бал. **Максимальна сума становить 15 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 застосування сучасних статичних перетворювачів систем тягового електроприводу для залізничного електротранспорту. Участь буде оцінюватися на основі кількості та вірності ваших відповідей. Питання, хоча й заохочуються, однак не оцінюються в цьому блоці. Ми намагаємося надати всім студентам рівні та справедливі можливості для підвищення власної залученості. **Максимальна сума становить 10 балів.**

#### Практичні заняття:

Оцінюються за відвідуваннями (до 3 балів), ступенем залученості (до 7 балів) та стислою презентацією виконаного завдання (до 5 балів). Ступінь залученості визначається участю у роботі дискусійного клубу з питань застосування сучасних напівпровідникових перетворювачів систем тягового електроприводу залізничного транспорту. **Максимальна сума становить 15 балів.**

#### Модульне тестування:

Оцінюються за вірними відповідями на тестові модульні питання (20 питань в тесті, кожна вірна відповідь оцінюється в 2 бали). **Максимальна кількість становить 40 балів за модуль.**

#### Курсова робота:

Метою курсової роботи є вивчення студентами основ проектування та методики розрахунку силових систем напівпровідникових перетворювачів для тягових електроприводів і бортових мереж живлення електричного рухомого складу. Робота виконується для нового перспективного електричного рухомого складу або з метою модернізації того, що вже знаходиться в експлуатації.

За результатами виконання курсової роботи з розробки статичного перетворювача для систем тягового електроприводу електричного транспорту та презентації проекту в кінці курсу студент отримує окрему оцінку, яка заноситься до заліково-екзаменаційної відомості та залікової книжки (індивідуального навчального плану) студента. **Максимальна кількість становить 100 балів**, яка визначається з урахуванням якості курсового проекту та його презентації.

#### Іспит:

Студент складає іспит за результатами модульного 1-го та 2-го контролю шляхом накопичення балів. Максимальна кількість балів, яку може отримати студент становить 100 (до 60 балів поточного контролю та до 40 балів тестування). Середнє арифметичне суми модульних оцінок складає бал за іспитом. Якщо студент не погоджується із запропонованими балами він може підвищити їх на іспиті, відповівши на питання екзаменаційного білета.

## 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 студенти можуть консультуватися з викладачами та з іншими студентами, 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 студентами над виконанням індивідуальних завдань, ви повинні зазначити ступінь їх залученості до роботи.

## Інтеграція студентів 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. Для інтеграції студентів із обмеженими можливостями в освітній процес Українського державного університету залізничного транспорту створена система дистанційного навчання на основі сучасних педагогічних, інформаційних, телекомунікаційних технологій. Доступ до матеріалів дистанційного навчання з цього курсу можна знайти за посиланням: <http://do.kart.edu.ua/>