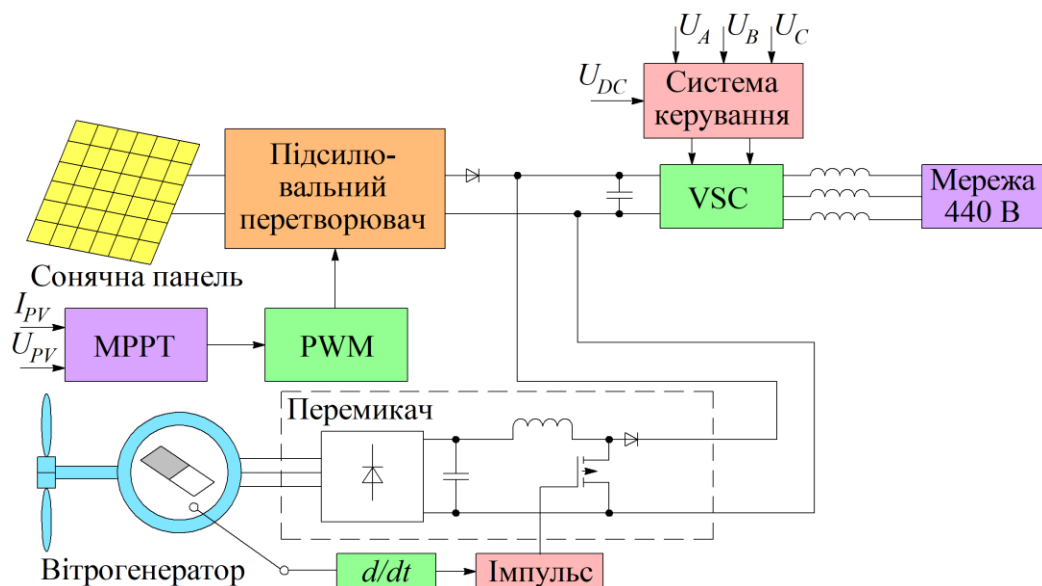


Затверджено на засіданні кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки протокол №1 від 15.09.2023



## СИЛАБУС з дисципліни

### «Моделювання та оптимізація систем електропостачання»

Час та аудиторія проведення занять – згідно розкладу занять

<http://rasp.kart.edu.ua>

#### Викладач

**Основний лектор:** Плахтій Олександр Андрійович

**Запрошений лектор:** Тугай Дмитро Васильович

**Контакти:** [a.plakhtiy1989@gmail.com](mailto:a.plakhtiy1989@gmail.com)

**Тел.:** [0939176020](tel:0939176020)

**Години прийому та консультацій:** 13.00-14.00 вівторок - четвер

**Метою** викладання навчальної дисципліни «Моделювання та оптимізація систем електропостачання» в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці» є ознайомлення студентів з принципами побудови інтелектуальних систем електропостачання, які дозволяють інтегрувати до класичних енергетичних систем альтернативні джерела живлення та потужні накопичувачі електроенергії, що дозволить в результаті в значній мірі підвищити енергоефективність системи електропостачання.

**Основним завданнями** вивчення навчальної дисципліни в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці є отримання студентами загальних відомостей щодо:

- принципів побудови інтелектуальних систем електропостачання;
- принципів генерації електроенергії від альтернативних джерел живлення до загальнопромислової мережі;
- принципів побудови автономних систем електропостачання з альтернативними джерелами живлення;
- отримання студентами загальних відомостей про принципи імітаційного моделювання інтелектуальних систем електропостачання, більш глибоке розкриття фізичних процесів, що протікають в них, визначення впливу вищих гармонік та реактивної потужності на втрати в електричній мережі.

## КОМПЕТЕНТНОСТІ КУРСУ

Курс має на меті сформувати та розвинути наступні компетентності студентів:

**1. Ціннісною-сміслову компетентність** формування та розширення світогляду студента в області побудови інтелектуальних систем електропостачання та комп'ютерного моделювання електромеханічних систем, здатність до розуміння важливості використання напівпровідникових перетворювачів та впливу перетворювальної техніки на загально технічний розвиток;

**2. Загальнокультурну компетентність** (розуміння впливу розвитку комп'ютерного моделювання систем електропостачання на розвиток нашої цивілізації);

**3. Навчально-пізнавальну компетентність** (формування у студента зацікавленості про стан та перспективи комп'ютерного моделювання систем електропостачання; 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 комп'ютерного моделювання напівпровідникових перетворювачів електроенергії в системах електропостачання за допомогою сучасних інформаційних технологій)

**5. Комунікативну компетентність** (розвиток у студента навичок роботи в команді шляхом реалізації групових проектів в області імітаційного моделювання, вміння презентувати власний курсовий проект – жива, робота електрична схема, зроблена студентів);

**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?

Обсяг фінансових інвестицій в альтернативні джерела живлення зростають з кожним роком. При цьому на ринку праці виникає необхідність в спеціалістах, які розуміються на принципах роботи альтернативних джерел живлення (АДЖ), шляхів генерації електроенергії АДЖ до загальнопромислових мереж, принципів роботи з накопичувачами електроенергії.

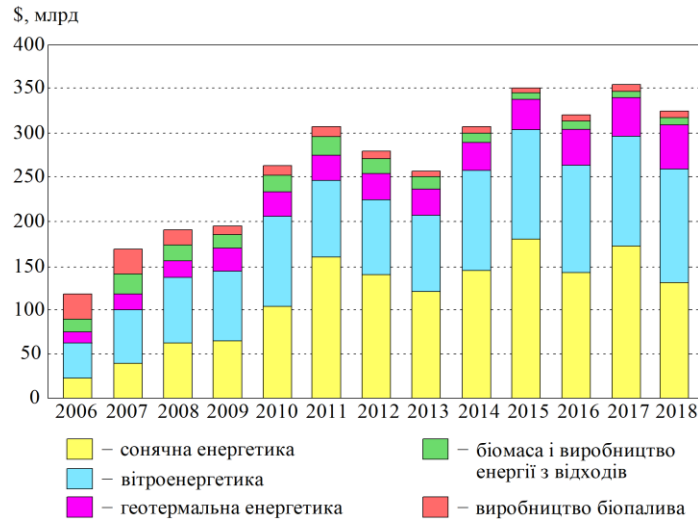


Рис. 1. Обсяг інвестицій в сектор відновлюваної енергетики у період з 2006 по 2018 рр.

Сонячні електростанції, які ще кілька років тому можна було зустріти тільки на півдні країни, стають поширеним новим бізнесом практично у всіх регіонах. У 2017 році, за даними Держенергоефективності, загальна потужність введених в експлуатацію сонячних електростанцій (СЕС) склала 211 МВт. Це рекорд для материкової України. У 2016 році сумарний обсяг налічував близько 100 МВт. До анексії регіональним лідером в будівництві СЕС був Крим, де тільки за 2013 рік потужність всіх запущених об'єктів була порівнянна по цифрам з нинішнім рекордом.

З 2011 року в нашій стані побудовано і введено в експлуатацію СЕС на 742 МВт. У загальному обсязі виробленої електроенергії в Україні, за даними ДП Енергоринок, на сонце вже доводиться 0,53%, в той час як в 2016-му - 0,36%. Це все ще невеликі цифри. Але серед усіх компаній, що працюють за зеленим тарифом, частка СЕС зростає найшвидше.

І це тільки початок. Як вважають в канадській компанії TIU Canada, яка нещодавно почала інвестувати в українські СЕС, місцеве законодавство передбачає досить вигідні умови по зеленому тарифу для інвесторів. "Після десятиліть залежності від російського газу Україна поставила собі за мету отримувати 11% електроенергії з поновлюваних джерел до 2020 року. Розташування країни робить її привабливою. В той час як деякі країни мають багаті поклади нафти, Україна має хороші показники за рівнями сонячної радіації і швидкості вітру", - відзначають в коментарі LIGA.net експерти канадського інвестора.

## **Зв'язок з іншими дисциплінами**

Для успішного вивчення курсу необхідні знання наступних дисциплін:

- Основи промислової електроніки
- Мікросхемотехніка
- Автоматизований електропривод
- Теорія автоматизованих систем керування
- Комп'ютерне та імітаційне моделювання електромеханічних систем в MATLAB

Команда викладачів і ваші колеги будуть готові надати будь-яку допомогу з деякими з найбільш складних аспектів курсу по електронній пошті [a.plakhtiy1989@gmail.com](mailto:a.plakhtiy1989@gmail.com) , через вайбер або телеграм за номером мобільного телефону 380939176020.

## Огляд схеми курсу

Цей курс, який вивчається з вересня по грудень, дає студентам глибоке розуміння принципів побудови інтелектуальних джерел електропостачання, від принципу роботи сонячної панелі та вітрогенератора до принципів генерації генерованої електроенергії до літій-іонних накопичувачів та загальнопромислової мережі.

Курс складається з однієї лекції на тиждень і одного практичного заняття раз у два тижні. Він супроводжується текстовим матеріалом, презентаціями та груповими завданнями. Студенти матимуть можливість застосовувати отримані знання та вирішувати практичні завдання протягом обговорень в аудиторії та розробки проекту. В рамках курсу передбачають лекції запрошених роботодавців та проведення екскурсії на передові харківські підприємства.

### Схема курсу

<b>Поміркуй</b>	Лекції	<b>Виконай</b>
	Запрошені лектори	
	Довідковий матеріал	
	Презентації	
	Курсовий проект	
	Групові завдання	
	Екскурсії	
	Індивідуальні консультації	
	Онлайн форум в вайбері	
	Іспит	

Практичні заняття курсу передбачають розробку імітаційних моделей напівпровідникових перетворювачів, які дозволять краще зрозуміти принципи роботи.

## Міждисциплінарні зв'язки

- Теоретичні основи електротехніки
- Вища математика
- Фізика
- Теорія автоматичного регулювання
- Електронна та перетворювальна техніка
- Мікросхемотехніка
- Теорія електроприводу
- Тягові напівпровідникові перетворювачі
- Тягові та трансформаторні підстанції



Інтелектуальні системи  
електропостачання Smart Grid

## Інтернет ресурси курсу

Інформація про курс 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)

Сайти присвячені моделюванню в програмі MATLAB:

<https://www.mathworks.com/>

<https://hub.exponenta.ru/>

<https://exponenta.ru/>

Сайти присвячені електронним пристроям:

<https://cxem.net/>

<http://radiostorage.net/>

<https://www.ruselectronic.com/chitaem-elektricheskie-skhemy/>

<http://electricalschool.info/main/elsnabg/415-preobrazovatelnye-ustrojstva-v.html>

Ютуб канали присвячені моделюванню та електронним пристроям:

<https://www.youtube.com/channel/UCtuwVWw9H06uaTadcyO570A>

<https://www.youtube.com/channel/UCUINxWT1y3SmOmeYzqAKrWQ>

<https://www.youtube.com/user/ETUSPB>

<https://www.youtube.com/user/priklucheniapsiha>



# Теми лекцій та практичних занять

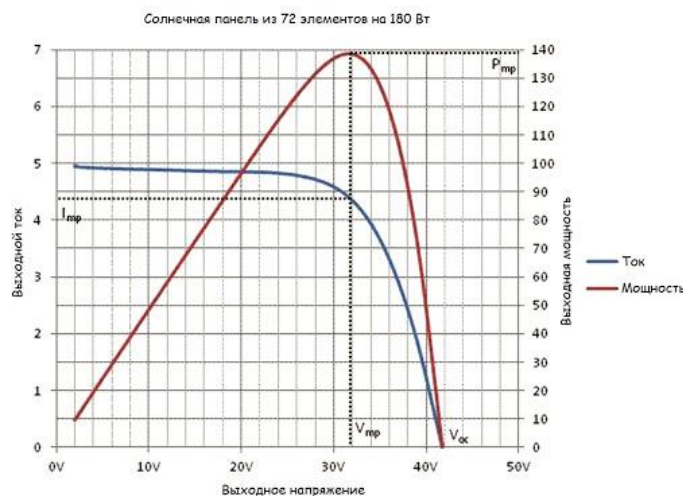
## Модуль 1.

### Тематичний модуль 1. Принципи роботи альтернативних джерел живлення та літій-іонних накопичувачів

#### Тема 1. Базові технічні характеристики сонячної панелі

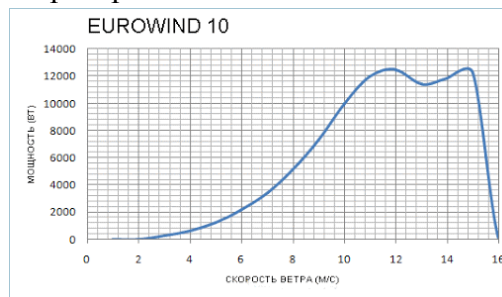
Сонячна батарея - об'єднання фотоелектричних перетворювачів - напівпровідникових пристроїв, прямо перетворюють сонячну енергію в постійний електричний струм, на відміну від сонячних колекторів, які виробляють нагрівання матеріалу-теплоносія.

Принцип дії сонячної панелі. Вольт-амперна характеристика сонячної панелі та принцип визначення точки генерації максимальної потужності.

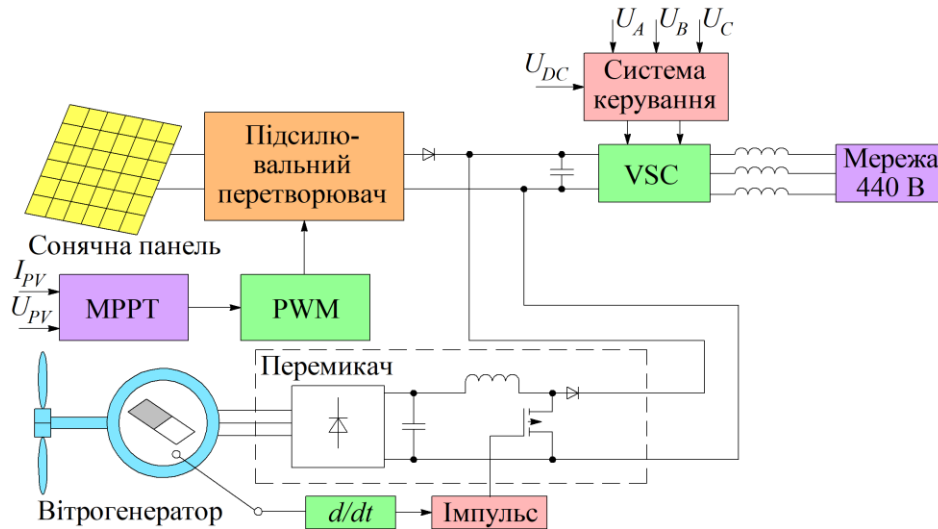


#### Тема 2. Базові технічні характеристики асинхронних та синхронних вітрових генераторів

Вітрогенератор (вітрова турбіна) — пристрій для перетворення кінетичної енергії вітру на електричну, що складається з вітрової турбіни, електрогенератора та допоміжного обладнання. В лекції приведено описання зовнішніх технічних характеристик вітрогенератора на прикладі пристрою EVROWIND 10.



**Тема 3.** Визначення структури інтелектуальних систем електропостачання з альтернативними джерелами живлення та напівпровідниковими перетворювачами електроенергії



**Тема 4.** Комп'ютерне моделювання інтелектуальних систем електропостачання.

Моделювання сонячних панелей, вітрогенераторів, напівпровідникових трифазних випрямлячів, підвищуючих ДС/ДС перетворювачів та автономних інверторів напруги. Визначення на імітаційних моделях показників якості електричної енергії та показників електромагнітної сумісності шляхом Фур'є-аналізу.

**Тема 5.** Визначення втрат енергії в системах електропостачання від вищих гармонік  
Зв'язок між показниками якості електричної енергії та втратами в електричній мережі.  
Визначення втрат потужності в системах тягового електропостачання викликані вищими гармоніками. Вплив вищих гармонік на коефіцієнт корисної дії системи електропостачання

**Тема 5.** Моделювання та оптимізація роботи інверторів напруги в режимі одноразової модуляції.

Моделювання автономних інверторів напруги в складі електрорухомого складу. Опис систем керування автономними інверторами напруги на базі одноразової модуляції. Визначення на імітаційних моделях показників якості електричної енергії та показників електромагнітної сумісності шляхом Фур'є-аналізу.

**Тема 6.** Моделювання та оптимізація роботи тягових інверторів напруги в режимі широтно-імпульсної модуляції.

Моделювання автономних інверторів напруги в складі електрорухомого складу. Опис систем керування автономними інверторами напруги на базі ШІМ. Визначення на імітаційних моделях показників якості електричної енергії та показників електромагнітної

сумісності шляхом Фур'є-аналізу. Порівняння енергетичних показників з режимом одноразової модуляції.

**Тема 7.** Моделювання систем тягового електропостачання змінного струму.

Визначення впливу діодних, тиристорних та активних чотириквadrантних перетворювачів електрорухомого складу на показники якості електричної енергії в тяговій мережі.

## **Модуль 2.**

**Змістовий модуль 2. Моделювання перспективних систем електропостачання залізниць.**

**Тема 1.** Електричні пасивні фільтри нижчих частот та режекторні фільтри в системах тягового електропостачання.

Визначення поняття фільтрації в напівпровідникових фільтрах. Класифікація та особливості фільтрів амплітудно-частотних характеристик фільтрів: вищих частот, нижчих частот, режекторних фільтри, полосових фільтрів.

**Тема 2.** Силові активні фільтри в складі тягових підстанцій постійного струму

Силова схема, принцип дії та система керування силових активних фільтрів в системах електропостачання постійного та змінного струму. Визначення статичних та динамічних втрат потужності в силовому активному фільтри.

**Тема 3.** Вольтододаткові пристрої.

Силова схема, принцип дії та система керування вольтододаткових пристроїв в системах електропостачання постійного. Вплив вольтододаткових пристроїв на показники якості електричної енергії.

**Тема 4.** Активні чотириквadrантні випрямлячі з корекцією коефіцієнта потужності в режимі гістерезисної модуляції.

Силова схема, принцип дії та гістерезисна система керування активних чотириквadrантних випрямлячів з корекцією коефіцієнта потужності в системах електропостачання постійного струму. Визначення статичних та динамічних втрат потужності в силовому активному фільтри. Режими випрямлення та рекуперації в активному випрямлячі.

**Тема 5.** Активні чотириквadrантні випрямлячі з корекцією коефіцієнта потужності в режимі широтно-імпульсної модуляції.

Силова схема, принцип дії та ШІМ система керування активних чотириквadrантних випрямлячів з корекцією коефіцієнта потужності в системах електропостачання постійного

струму. Визначення статичних та динамічних втрат потужності в силовому активному фільтрі. Режими випрямлення та рекуперації в активному випрямлячі.

**Тема 6.** Комбінація роботи трифазного діодного випрямляча, силового активного фільтру та вольтододаточного пристрою.

Особливості роботи трифазного діодного випрямляча, силового активного фільтру та вольтододаточного пристрою. Визначення енергетичних показників та показників якості електричної енергії в режимах випрямлення та рекуперації.

**Тема 7.** Шляхи та критерії оптимізації систем тягового електропостачання.

Визначення шляхів та критеріїв оптимізації систем тягового електропостачання. Зв'язок між коефіцієнтом корисної дії системи електропостачання та вартістю системи.

## 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:

- Студентам пропонується обрати один з 8 варіантів тем для створення власного проекту впродовж семестру. За вчасне та вірне виконання завдання нараховується **20 балів до поточного модульного контролю**. За вчасне та частково вірне виконання – від 15 до 25 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.

	Теми проектів для моделювання
1	Параметричний стабілізатор напруги на біполярному транзисторі
2	Генератор пилкоподібної напруги
3	Підвищуючий dc/dc перетворювач
4	Понижуючий dc/dc перетворювач
5	Регулятор яскравості світлодіодного світильника
6	Трансформатор Тесли
7	Моделювання об'єктів відновлювальної енергетики у складі систем електропостачання електричного транспорту
8	Та інші проекти, які цікаві студентам

#### Відвідування лекцій:

Бали за цю складову нараховуються взагалі, якщо студент не відвідував більш 50% лекційних занять у модулі без поважних причин. За відвідування кожної лекції нараховується 1 бал. **Максимальна сума становить 10 балів.**

#### Захист лабораторних робіт:

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 відновлювальних джерел для електропостачання залізничного транспорту. 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 власною залученості. **Максимальна сума становить 10 балів.**

#### Співбесіда за темами модулю:

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 енергетичної незалежності та безпеки залізниці і держави в цілому. **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.**

### Іспит:

- Студент отримує залік 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 заліковий бал. Якщо студент не погоджується із запропонованими балами він може підвищити їх на іспиті, відповівши на питання викладача.

## Екскурсії

Впродовж семестру заплановані 2 екскурсії на підприємства, зокрема:

- ВО ОВЕН
- НПО ВЕРТИКАЛЬ.

За результатами екскурсій студенту пропонується зробити коротку презентацію (до 10 слайдів), яка буде оцінюватися додатковими балами (за потреби). **Максимальна сума становить 5 балів за презентацію.**

## Команда викладачів

**Плахтій Олександр Андрійович** (<http://kart.edu.ua/kafedra-etem-ua/kolectuv-kafedru-aset-ua?id=2714>) – лектор дисципліни. Отримав ступінь к.т.н. за спеціальністю 05.09.12 напівпровідникові перетворювачі електроенергії у НТУ «ХПІ» у 2016 році. Напрямки наукової діяльності: електроенергетика, напівпровідникові перетворювачі електроенергії на транспорті та поновлювальні джерела електричної енергії.



## Результати навчання

В результаті курсу студент, ЯКИЙ ВЧИВСЯ буде мати наступні знання та навички.

### **Ви будете знати:**

- основні принципи імітаційного моделювання електромагнітних процесів що протікають в системах електропостачання та їх складових;
- алгоритми модуляції в напівпровідникових тягових перетворювачах та пов'язані з ними показники емісії вищих гармонік струму;
- шляхи покращення показників якості електричної енергії, електромагнітної сумісності.
- шляхи збільшення енергетичної ефективності систем тягового електропостачання.

### **Ви будете вміти:**

- створювати імітаційні моделі систем тягового електропостачання та визначати на них енергетичні характеристики та показники емісії вищих гармонік вхідних струмів та вихідної напруги тягових випрямлячів до контактної мережі;
- оцінювати технологічні витрати електроенергії спричинені вищими гармоніками;
- виконувати імітаційне моделювання електромагнітних процесів в тягових електроприводах;
- оцінювати і розробляти заходи щодо зниження електромагнітних впливів тягових електроприводів що контактної мережі.

## 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, вміннями 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/>