

Вінницький національний технічний університет  
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості  
і на транспорті  
Факультет електроенергетики та електромеханіки

## **СИЛАБУС**

**з дисципліни вільного вибору студента**  
**«Системи керування електроприводами»**  
**I (бакалаврський) рівень вищої освіти**

**Галузь знань 14 – Електрична інженерія**

**Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

**Спеціалізація – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод**

**Викладач: к.т.н., доцент Розводюк М. П.**

**Мова викладання: українська**

**2019 рік**

## 1. Опис навчальної дисципліни

	Денне	Заочне	Денне	Заочне
Семестр	6	6	7	7
Кредитів	2,5	2,5	6	4
Всього годин	75	75	180	120
Лекцій, год	18	5	36	5
Лабораторних занять, год.	12	5	18	10
Практичних занять, год.	–	5	18	–
Курсовий проект	–	–	+	+
Контрольна робота	–	+	–	–
Самостійна робота, год	45	60	108	105
Вид контролю	Диф. залік	Диф. залік	Іспит	Диф. залік

## 2. Передумови для вивчення

Дисципліна «Системи керування електроприводами» базується на знаннях та уміннях, отриманих студентами під час вивчення дисциплін «Системи керування електроприводами» є такі дисципліни: Вища математика», «Теоретичні основи електротехніки», «Теорія автоматичного керування», «Електричні машини», «Електричні апарати», «Теорія електропривода», «Силові перетворювачі автоматизованих електроприводів», «Аналогова та цифрова схемотехніка».

Матеріал, що вивчається, забезпечує основу для вивчення дисциплін «Сучасні системи керування електромеханічними системами», «Проектування систем керування електроприводами», «САПР електромеханічних систем автоматизації та електроприводів», «Оптимізація електромеханічних систем», «Автоматизовані системи керування технологічними процесами та комплексами», «Електропривод підприємств агропромислового комплексу».

## 3. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета викладання дисципліни.** Ознайомити студентів із автоматизованими системами керування електроприводами, які використовуються в народному господарстві нашої країни і за кордоном, і які є основними системами автоматизації технологічних процесів з використанням електроприводів, вивчити будову різноманітних систем керування електроприводами, їх властивості й характеристики, способи регулювання координат, методи синтезу регуляторів, методи оптимізації роботи систем, методи аналізу статичних і динамічних процесів для різних виробничих механізмів.

**Завдання вивчення дисципліни.** Навчити студентів ідентифікувати автоматизовані системи керування електроприводами, знати їх принципи побудови, властивості й характеристики, способи регулювання координат, методи синтезу регуляторів, методи оптимізації роботи систем, методи аналізу статичних і динамічних процесів для різних виробничих механізмів.

**Програмні результати вивчення дисципліни.** Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

– **знати** методи побудови та особливості розрахунків систем керування електроприводами; статичні і динамічні характеристики систем керування електроприводами постійного та змінного струму; способи регулювання координат електроприводу; особливості оптимізації контурів систем керування електроприводами за різними критеріями;

– **вміти** досліджувати, розраховувати, проектувати та налагоджувати розімкнені та замкнені контури систем керування електроприводами постійного і змінного струму; вибирати конкретну апаратуру для реалізації різних контурів регулювання для конкретного виконавчого механізму.

**Компетентності, якими повинен оволодіти здобувач освіти в результаті вивчення дисципліни.** Здатність ідентифікувати системи керування електроприводами, знати їх принципи побудови, властивості й характеристики, способи регулювання координат, методи синтезу регуляторів, методи оптимізації роботи систем, методи аналізу статичних і динамічних процесів для різних виробничих механізмів.

На позааудиторну роботу вноситься вивчення окремих проблем курсу, підготовка до колоквіумів, написання контрольних робіт (для студентів заочної форми навчання), підготовка до підготовки до практичних та лабораторних занять, колоквіумів, тестування, написання курсового проекту, іспитів.

#### **4. Програма навчальної дисципліни**

##### **Змістовий модуль 1. Основи побудови СКЕП. Релейно-контакторні СКЕП**

- Тема 1.** Предмет, задачі та зміст курсу, зв'язок з іншими дисциплінами спеціальності.
- Тема 2.** Основні поняття й означення. Алгоритм функціонування, класифікація систем керування електроприводами (СКЕП) за призначенням.
- Тема 3.** Якість процесу керування.
- Тема 4.** Принципи побудови релейно-контакторних схем керування двигунами постійного струму (ДПС): загальна характеристика схем пуску ДПС; керування пуском двигуна у функції кутової швидкості (ЕРС), струму; схеми гальмування ДПС.
- Тема 5.** Розрахунок пускових і гальмівних опорів для ДПС. Розрахунок та побудова природної, пускових та гальмівної характеристик.
- Тема 6.** Принципи побудови релейно-контакторних схем керування асинхронними двигунами (АД) та синхронними двигунами (СД).

##### **Змістовий модуль 2. Елементи замкнених СКЕП**

- Тема 7.** Математична модель ДПС: передавальна функція (ПФ) ДПС при однозонному та двозонному регулюванні; розгорнута структурна схема ДПС при однозонному та двозонному регулюванні.
- Тема 8.** Математична модель АД.
- Тема 9.** Типові аналогові регулятори. Схеми включення операційних підсилювачів з обмеженням вихідного сигналу
- Тема 10.** Сенсори: вимоги до сенсорів; сенсори струму; сенсори напруги; сенсори швидкості; сенсори ЕРС.
- Тема 11.** Задавачі регульованих величин.

##### **Змістовий модуль 3. Замкнені одноконтурні СКЕП постійного струму**

- Тема 12.** Статичні характеристики одноконтурної СКЕП: 1) з від'ємним зворотнім зв'язком за напругою; 2) з від'ємним зворотнім зв'язком за струмом; 3) з від'ємним зворотнім зв'язком за швидкістю; 4) з від'ємним зворотнім зв'язком за швидкістю і попереджувальним струмовим обмеженням.
- Тема 13.** Статичні характеристики двоконтурної СКЕП: 1) з від'ємним зворотнім зв'язком за швидкістю і струмовою відсічкою; 2) з від'ємним зворотнім зв'язком за напругою і додатним зворотнім зв'язком за струмом.

##### **Змістовий модуль 4. Замкнені СКЕП постійного струму стабілізації кутової швидкості**

- Тема 14.** Оптимізація контурів регулювання: мета, задачі, критерії, шляхи реалізації.
- Тема 15.** Оптимізація контуру регулювання на модульній оптимум (МО): 1) об'єкт якого містить велику і малу інерційність; 2) застосування П-регулятора для контуру, об'єкт якого

містить велику і малу інерційність; 3) об'єкт якого має інтегруючу ланку й ланку з малою постійною часу.

- Тема 16.** Оптимізація контуру на симетричний оптимум (СО), об'єкт якого має інтегруючу ланку і ланку з малою постійною часу. Порівняння настройок.
- Тема 17.** Принципи побудови багатоконтурних СКЕП.
- Тема 18.** Однозонний ЕП з підпорядкованим керуванням із зворотним зв'язком за швидкістю: 1) принцип побудови; 2) оптимізація контуру струму; 3) оптимізація контуру швидкості.
- Тема 19.** Реалізація систем підпорядкованого регулювання (СПР): 1) принципова (блочна) схема двоконтурної СПР ЕП; 2) розрахунок контуру струму; 3) розрахунок контуру швидкості; 4) осцилограми сигналів при пуску, гальмуванні, реверсі.
- Тема 20.** Застосування задавача інтенсивності (ЗІ) на вході контуру швидкості. Осцилограми сигналів при пуску, гальмуванні і реверсі з ЗІ на вході регулятора швидкості. Особливість роботи приводу з П- і ПІ-регуляторами швидкості при наявності ЗІ на вході.
- Тема 21.** Однозонний ЕП з підпорядкованим керуванням із зворотним зв'язком за ЕРС: 1) принцип побудови; 2) оптимізація контуру ЕРС; 3) принципова (блочна) схема зі зворотним зв'язком за ЕРС і датчиком напруги; 4) розрахунок параметрів контуру ЕРС; 5) побудова швидкісних характеристик.
- Тема 22.** Стабілізація струму збудження в однозонних СКЕП: 1) структурна схема контуру збудження; 2) принципова (блокова) схема стабілізації струму збудження; 3) порядок розрахунку контуру струму збудження.
- Тема 23.** Двоступінний ЕП з підпорядкованим керуванням: 1) функціональна схема двоступінного ЕП; 2) діаграма пуску ЕД з виходом в другу зону; 3) структурна схема двоступінного ЕП з підпорядкованим регулюванням параметрів; 4) оптимізація контурів регулювання (контур потоку, контур ЕРС); 5) принципова (блочна) схема управління збудженням електродвигуна в двоступінним реверсивному по якорю ЕП; 6) лінеаризація контуру швидкості в двоступінному ЕП.

#### **Змістовий модуль 5. Слідкувальні СКЕП**

- Тема 24.** Загальні відомості про слідкувальні СКЕП. Структурна схема і режими роботи позиційної СКЕП.
- Тема 25.** Оптимізація контуру положення для режиму малих переміщень.
- Тема 26.** Оцінка точності позиційної системи. Аналогова позиційна система.
- Тема 27.** Оптимізація контуру положення для режиму середніх переміщень.

#### **Змістовий модуль 6. Системи модального керування**

- Тема 28.** Загальна характеристика модального керування.
- Тема 29.** Синтез модального регулятора електропривода.
- Тема 30.** Спостерігачі стану в системах керування.
- Тема 31.** Приклад побудови системи модального керування зі спостерігачами для електропривода постійного струму.

#### **Змістовий модуль 7. СКЕП змінного струму**

- Тема 32.** Система ТРН-АД: 1) принцип побудови; 2) функціональна схема; 3) регульовальні та механічні характеристики; 4) структурна схема; 5) розрахунок контурів.
- Тема 33.** Система ПЧ-АД зі скалярним управлінням: 1) принцип побудови; 2) способи управління; 3) розімкнена система керування; 4) замкнуті системи частотного керування; 5) системи частотно-струмового керування.
- Тема 34.** Керування синхронним двигуном в схемі вентильного двигуна: 1) вентильний двигун; 2) схема керування; 3) характеристики.

## 5. Теми практичних занять

1. Складання структурних схем СКЕП за їх функціональними схемами.
2. Структурні перетворення контурів СКЕП.
3. Оптимізація контурів за модульним критерієм.
4. Оптимізація контурів за симетричним критерієм.
5. Розрахунок параметрів регуляторів.
6. Розрахунок статичних характеристик систем електропривода.
7. Розрахунок динамічних характеристик СКЕП.

## 6. Теми лабораторних занять

1. Вивчення способів навантаження електричних машин в різних режимах.
2. Дослідження характеристик двигунів постійного струму незалежного збудження.
3. Дослідження електромеханічних і регулювальних характеристик нереверсивного електропривода постійного струму за системою ТП-Д.
4. Дослідження електромеханічних і регулювальних характеристик реверсивного електропривода постійного струму за системою ТП-Д.
5. Дослідження електромеханічних і регулювальних властивостей електропривода з асинхронним двигуном з фазним ротором.
6. Дослідження електромеханічних і регулювальних властивостей асинхронного електропривода в розімкнутій і замкнутій системі ТРН-АД.
7. Дослідження характеристик машинно-вентильного каскаду постійної потужності.
8. Дослідження характеристик асинхронного двигуна з фазним ротором в несиметричних режимах.
9. Дослідження електромеханічних і регулювальних властивостей асинхронного електропривода з тиристорним комутатором у роторному колі.
10. Дослідження електромеханічних і регулювальних характеристик системи АВК.
11. Дослідження пускових режимів синхронних двигунів.
12. Системи динамічного навантаження двигунів постійного струму.

## 7. Індивідуальні завдання

### 7.1. Курсовий проект

Тема курсового проекту: «Розрахунок та дослідження систем підпорядкованого, модального керування, спостерігача стану та позиційної системи для електропривода ТП-Д».

Завдання на курсовий проект сформульовано таким чином що охоплює основні положення курсу і вимагає від студента знання всієї програми дисципліни.

Зміст курсового проекту:

- 1 Розрахунок та дослідження системи підпорядкованого типу
  - 1.1 Вибір функціональної схеми електропривода
  - 1.2 Розрахунок і вибір елементів силової частини електропривода
    - 1.2.1 Розрахунок і вибір трансформатора
    - 1.2.2 Розрахунок і вибір вентилів
    - 1.2.3 Розрахунок і вибір фільтра
    - 1.2.4 Розрахунок та вибір апаратів захисту й комутації силового кола
  - 1.3 Визначення параметрів об'єкта керування
    - 1.3.1 Розрахунок й вибір сенсорів та їх коефіцієнтів підсилення
    - 1.3.2 Розрахунок параметрів силового кола (еквівалентного опору, сталих часу якірного кола двигуна, коефіцієнта підсилення тиристорного перетворювача)

- 1.4 Розрахунок та побудова характеристик розімкненої системи
  - 1.4.1 Розрахунок зовнішньої характеристики  $U_d = f(I_d)$
  - 1.4.2 Розрахунок регулювальної характеристики  $U_d = f(\alpha)$
  - 1.4.3 Розрахунок електромеханічної характеристики  $n = f(I)$
- 1.5 Розрахунок та вибір регуляторів та елементів їхніх контурів
  - 1.5.1 Налаштування регулятора струму
  - 1.5.2 Розрахунок регулятора струму та вибір його елементів
  - 1.5.3 Налаштування регулятора швидкості
  - 1.5.4 Розрахунок регулятора швидкості та вибір його елементів
- 1.6 Дослідження динамічних характеристик замкненої системи шляхом комп'ютерного моделювання
- 1.7 Розробка схеми електричної принципової системи електропривода
- 2 Розрахунок та дослідження системи модального керування
- 3 Розрахунок та дослідження системи зі спостерігачем стану
- 4 Розрахунок та дослідження позиційної системи

*Примітка: при комп'ютерному моделюванні динамічних характеристик замкненої системи розглянути режими: а) запуск без навантаження; б) запуск з номінальним навантаженням; в) накид навантаження, що на 20% перевищує номінальне, після виходу на усталений режим роботи; скид навантаження до 80% від номінального; г) накид навантаження під час пуску; д) помилку системи електропривода при накиді номінального навантаження (за збурювальною дією). Для всіх вищеперерахованих режимів реалізувати реверс.*

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

- 1) принципова схема системи підпорядкованого керування (формат А2);
- 2) структурна схема системи модального керування (формат А2);
- 3) структурна схема системи зі спостерігачем стану (формат А2);
- 4) структурна схема позиційної системи (формат А2);
- 5) характеристики розімкненої системи підпорядкованого типу, схема моделювання, та графіки перехідних процесів замкненої системи (формат А2);
- 6) схема моделювання, графіки перехідних процесів замкненої системи модального керування (формат А2);
- 7) схема моделювання, графіки перехідних процесів замкненої системи зі спостерігачем стану (формат А2);
- 8) схема моделювання, графіки перехідних процесів замкненої позиційної системи (формат А2).

За умови, що студент проявив нахил до дослідницької роботи і на заняттях з ОНДР вже почав дослідження конкретної системи керування електропривода виробничого механізму для курсового проектування йому може бути видане завдання по проектуванню цієї системи керування електропривода з метою використання матеріалів курсового проекту в бакалаврській дипломній роботі.

## **7.2. Контрольна робота**

(для студентів заочної форми навчання)

Контрольна робота вводиться для закріплення теоретичних знань та набуття практичних навичок розрахунку систем керування електроприводів.

Контрольна робота складається з двох комплексних задач. Завдання сформульовано таким чином що охоплює весь матеріал, що вивчається в першій частині дисципліни.

Об'єктом розрахунків є система керування електроприводами постійного струму (задача №1 на основі двигунів з незалежним чи послідовним збудженням) та змінного струму (задача №2 на основі асинхронних чи синхронних двигунів), які використовуються для приведення в рух окремих елементів або всього виробничого механізму.

Об'єм роботи 15-20 сторінок з відповідними графічними ілюстраціями.

Кожна задача складається з таких основних розділів:

- коротка характеристика електроприводу виробничого механізму і режимів його роботи;
- вибір силової апаратури СКЕП;
- розрахунок контурів регулювання СКЕП;
- розрахунок та побудова статичних характеристик СКЕП;
- розрахунок динамічних характеристик СКЕП;
- вибір елементів СКЕП.

Графічний матеріал розміщується в основному тексті. Обов'язковими ілюстраціями є:

- структурна схема СКЕП;
- електрична (функціональна) схема СКЕП;
- графіки перехідних процесів.

## 8. Методи навчання

Лекція, проблемна лекція, демонстрація, зокрема, з використанням мультимедійних засобів навчання, практичні роботи, лабораторні роботи.

## 9. Методи контролю

Поточний контроль, який здійснюється у формі фронтального, індивідуального чи комбінованого контролю знань студентів під час лабораторного заняття, тестування, колоквиумів, захисту курсового проекту, одна контрольна робота (для студентів заочної форми навчання), диференційного заліку та іспиту (по одному в кожному з семестрів).

## 10. Оцінювання результатів навчання

Вид роботи	Модуль		
	1	2	3
1. Виконання практичних завдань / 1 завдання /	–	–	7×2
2. Виконання та захист лабораторних завдань / 1 завдання /	3×4	3×4	5×4
3. Колоквиуми / 1 колоквиум /	25	26	41
Всього	37	38	75
Диференційний залік	25		–
Іспит	–		25
Сума	100		100

## 11. Політика курсу

Викладач та всі здобувачі, що вивчають цей курс, зобов'язуються дотримуватись таких положень Кодекс етики ВНТУ, Положення про академічну доброчесність студентів та науково-педагогічних працівників ВНТУ, Положення про рейтингову систему оцінювання досягнень студентів у ВНТУ та розуміють, що за їх порушення несуть особисту відповідальність.

## 12. Рекомендована література та інформаційні ресурси

### Базова

1. Терехов В. М. Системи управління електроприводов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Терехов, О. И. Осипов; под ред. В. М. Терехова. – 3-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 304 с.
2. Голуб А. П. Системи керування електроприводами : навч. посібник / А. П. Голуб, Б. І. Кузнецов, І. О. Опришко, В. П. Соляник. – К. : НМК ВО, 1992. – 352 с.

3. Фишбейн В. Г. Расчет систем подчиненного регулирования вентиляного электропривода постоянного тока / В. Г. Фишбейн. – М. : Энергия, 1972. – 136 с.
4. Зеленев А. Б. Синтез та цифрове моделювання систем управління електроприводів постійного струму з вентиляними перетворювачами : навч. Посібник / А. Б. Зеленев, І. С. Шевченко, Н. І. Андрєєва. – Алчевськ : ДГМІ, 2002. – 400 с.
5. Грабко В. В. Системи керування електроприводами. Розрахунок системи підпорядкованого керування електроприводом постійного струму. Курсове та дипломне проектування : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, В. В. Грабко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 89 с.
6. Евзеров И.Х. Комплектные тиристорные электроприводы : справочник / И. Х. Евзеров, А. С. Горобец, Б. И. Мошкович и др.; Под ред. В. М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.
7. Слежановский О. В. Системы подчиненного регулирования электроприводов переменного тока с вентиляными преобразователями / О В. Слежановский, Л. Х. Дацковский, И. С. Кузнецов и др. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.
8. Перельмутер В. М. Системы управления тиристорными электроприводами постоянного тока / В. М. Перельмутер, В. А. Сидоренко. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 304 с.
9. Попович М. Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : навчальний посібник/ М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепиков та ін.; За ред.. М.Г. Поповича, О. Ю. Лозинського. – К. : Либідь, 2005. – 680 с.

#### **Допоміжна**

1. Півняк Г. Г. Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи з широтно-імпульсною модуляцією : монографія / Г. Г. Півняк, О. В. Волков. – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2006. – 470 с.
2. Казачковський М.М. Комплектні електроприводи : навчальний посібник / М. М. Казачковський. – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2003. – 226 с.
3. Акимов Л. В. Динамика двухмассовых систем с нетрадиционными регуляторами скорости и наблюдателями состояния : монографія / Л. В Акимов, В. И. Колотило, В. С. Марков. – Харьков : ХГПУ, 2000. – 93 с.
4. Акимов Л. В. Электромеханические системы скорости и положения с наблюдателями состояния : монографія / Л. В Акимов, В. И. Колотило. – Харьков : ХГПУ, 1999. – 81 с.
5. Рогачов О. І. Оптимальне керування в прикладах і задачах : навчальний посібник / О. І. Рогачов. – К. : ІСДО, 1995. – 272 с.

#### **Інформаційні ресурси**

1. В. В. Грабко, М. П. Розводюк, В. В. Грабко. Системи керування електроприводами. Розрахунок системи підпорядкованого керування електроприводом постійного струму. Курсове та дипломне проектування : електронний навчальний посібник [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://posibnyky.vntu.edu.ua> (дата звернення 07.10.2012). – Назва з екрана. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 37574 від 23.03.2011 року.