

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Кафедра автоматизованих електромеханічних систем  
(назва)

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Завідувач кафедри автоматизованих електромеханічних систем  
(назва кафедри)

Б.В. Воробйов  
(підпис) (ініціали та прізвище)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 року

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**" Моделювання та задачі синтезу  
мікропроцесорних електроприводів "**

( назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти другий (магістерський)  
перший (бакалаврський) / другий (магістерський)

галузь знань 14 – Електрична інженерія  
(шифр і назва)

спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка  
(шифр і назва )

Освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод ,  
Електропривод, мехатроніка та робототехніка  
(шифр і назва )

вид дисципліни: професійна підготовка  
(загальна підготовка / професійна підготовка)

форма навчання: денна  
(денна / заочна)

Харків – 2023 рік

## ЛИСТ ЗАТВЕРДЖЕННЯ



Робоча програма з навчальної дисципліни  
"Моделювання та задачі синтезу мікропроцесорних електроприводів"  
(назва дисципліни)

Розробники:

Проф., к.т.н., доц.  
(посада, науковий ступінь та вчене звання)



Осичев О. В.  
(ініціали та прізвище)

Робоча програма розглянута та затверджена на засіданні кафедри  
автоматизованих електромеханічних систем  
(назва кафедри)

Протокол від «21» 09 2023 року № 9

Завідувач кафедри АЕМС  
(назва кафедри) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Б.В. Воробйов  
(ініціали та прізвище)

**ЛИСТ  
ПОГОДЖЕННЯ**

Шифр та назва освітньої програми	ПІБ Гаранта ОП	Підпис, дата
Електропривод, мехатроніка та робототехніка	<b>Шамардіна В. М.</b>	

Голова групи забезпечення спеціальності \_\_\_\_\_ Лазуренко О.П. \_\_\_\_\_  
(ПІБ, підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.



## **МЕТА, КОМПЕТЕНТНОСТІ, РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ ТА СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Мета: Сформувати у студентів широку та конкретну уяву про проблематику, місце і різноманітність завдань та застосування методів і пакетів програм моделювання електромеханічних систем в практичній роботі студента, інженера та науковця-дослідника, що працюють, розвиваються та навчаються в галузі електроприводу, автоматизації та мехатроніки та навчити їх використовуванню цих методів і програм, включаючи вирішення задач синтезу сучасних регуляторів, нерозривно пов'язаних з процедурою моделювання .

Компетентності: ПК-1 – Здатність використовувати увесь спектр математичних моделей динамічних систем для вирішення завдань спеціальності, в тому разі у ході роботи з пакетом МАТЛАБ. ПК-3 – Здатність використовувати базові знання з фізики, вищої математики та теоретичних основ електротехніки для вирішення практичних задач в галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки у ході моделювання, як математичного так і комп'ютерного. ПК-5 – Здатність використовувати знання з метрології та електричних вимірювань, теорії автоматичного керування, теорії електроприводу, цифрової обробки сигналів та автоматизації для вирішення задач оптимізації та керування (включаючи синтез сучасних регуляторів) в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці. ПК-14 – Здатність виконувати експериментальні комп'ютерні дослідження режимів роботи електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання. ПКс-1 – Здатність розробляти та розраховувати моделі електротехнічних установок різного призначення, визначати склад їх обладнання та розраховувати режими їх роботи.

Результати навчання: РН-2 – Визначати принципи побудови та функціонування елементів систем керування та автоматики електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних комплексів. РН-4 – Вирішення професійних задач з моделювання електроенергетичних, електротехнічних, електромеханічних комплексів та систем. РН-5 – Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексів і систем. РН-23 – Вдосконалювати навички роботи з сучасним обладнанням та програмним забезпеченням при виконанні розрахунків динамічних режимів роботи електротехнічного, електроенергетичного та електромеханічного обладнання, відповідних комплексів та систем.

## Структурно-логічна схема вивчення навчальної дисципліни

<b>Попередні дисципліни:</b>	<b>Наступні дисципліни:</b>
Фізика, математика, Теоретична механіка	Мікропроцесорний електропривод Інтелектуальні системи керування в мехатроніці
Електричні машини і апарати, Промислова електроніка	Числове програмне керування мехатронними системами
Теорія електропривода	Сучасні мехатронні системи
Теорія автоматичного керування	
Основи мікропроцесорної техніки	
Моделювання електромеханічних систем	
Системи автоматичного керування електроприводами	

## ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

(розподіл навчального часу за семестрами та видами навчальних занять)

Семестр	Загальний обсяг (годин) / кредитів ECTS	З них		За видами аудиторних занять (годин)			Індивідуальні завдання студентів (КП, КР, РГ, Р, РЕ)	Поточний контроль	Семестровий контроль	
		Аудиторні заняття (годин)	Самостійна робота (годин)	Лекції	Лабораторні заняття	Практичні заняття, семінари			Залік	Екзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	150/5	64	86	32	16	16	КР	-	-	+

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до загального обсягу складає 53 (%):  $(80/150) \cdot 100 = 53 \%$

## СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

№ з/п.	Види навчальних занять (Л, ЛЗ, ЛЗ, СР)	Кількість годин	Номер семестру (якщо дисципліна викладається у декількох семестрах). Назви змістових модулів. Найменування тем та питань кожного заняття. Завдання на самостійну роботу.	Рекомендована література (базова, допоміжна)***
1	2	3	4	5
1	Л	2	<p style="text-align: center;"><b>Модуль №1</b></p> <p style="text-align: center;"><b>«Електронного комплекту методичних матеріалів»</b></p> <p style="text-align: center;"><b>(семестр №9, 3 кредити)</b></p> <p><b>Введення.</b> Літературні джерела за курсом (вкладені файли книг). Короткий аналіз літературних джерел, демонстрація прийомів застосування. Короткий експрес-конспект лекцій для прискореної підготовки до іспиту. Вкладені зразки курсових проектів (за перший рік їх виконання), плакати дипломних робіт магістрів, відеозаписи діючих зразків сучасного електроприводу з Гановерської виставки. Вкладені копії рукописних студентських конспектів попередніх років, конспект однієї лекції і семінару в Магдебурзькому університеті, екзаменаційний квиток по аналогічній дисципліні, яка читається в МЕІ.</p> <p><b>Цілі і завдання курсу.</b> Приклади застосування різних пакетів програм, що моделюють електродинамічні і теплові процеси в електромеханічних системах (Matlab, Circuitmaker, CC, MicroCAP, Vissim, Labview, PSIM, Cobra, CIAM, Motor-CAD, Filter Solution, NeroWaveEditor, Maple, Інтерактивний інтернет-пакет Вольфрам) в режимах структурного моделювання і віртуального моделювання при чисельних і аналітичних розрахунках і перетвореннях. Зразки результатів застосування моделювання в бакалаврській і магістрівській випускних роботах, а також в демо-моделях пакету Матлаб. Зв'язок і нерозривна єдність завдань моделювання, аналізу і синтезу систем у професійній діяльності інженера і вченого. Проблематика знаходження достовірних значень параметрів елементів електроприводу, необхідних для моделювання і синтезу систем регулювання. Бібліотека осцилограм динамічних процесів в електроприводі з вітчизняних і зарубіжних джерел за останні 50 років, включаючи цифрові осцилограми, що знімаються перетворювачами частоти.</p>	<p>Рекомендована література додана у Електронний конспект лекцій безпосередньо у вигляді файлів книжок, комп'ютерних моделей, аудіо і відеоматеріалів і т.і. прямо в тексті кожної відповідної лекції.</p>
2	Л	2	<p><b>Узагальнення і коротке повторення раніше вивченої профільної тематики.</b></p> <p>Зміст поняття моделювання. Способи представлення моделей. Завдання, розв'язувані за допомогою моделювання. Форми представлення лінійних математичних моделей. Характеристики динамічних властивостей моделей та ін.</p>	<p>Рекомендована література додана у Електронний конспект лекцій безпосередньо у вигляді файлів книжок, комп'ютерних моделей, аудіо і відеоматеріалів і т.і. прямо в тексті кожної відповідної лекції.</p>

3	Л	<p><b><u>Деталізований аналіз області застосування, технічних характеристик, схем і особливостей моделювання сучасних електричних, механічних та інформаційних елементів систем автоматизації і мікропроцесорного електроприводу.</u></b></p> <p><b>1. Огляд мікропроцесорної елементної бази мікроконтролерів і перетворювачів частоти/пристроїв плавного пуску.</b></p> <p><b>2. Двигуни в мікропроцесорному електроприводі, їх характеристики, параметри і способи моделювання в пакетах Матлаб, Мейпл та PSIM.</b></p> <p>Особливості ДПТ НВ з 10-кратним ослабленням поля, <i>ДПТ з постійними магнітами</i> і кратним підвищенням напруги якоря. Двигуни з порожнистим ротором. Різноманітність <i>вентильних двигунів</i>, осцилограми роботи, електропривод (виробництво ДЕМЗ-заводу) на базі вентильного двигуна, модель вентильного двигуна в пакеті PSIM без регулятора швидкості, з регулятором швидкості, без ШІМ-модуляції, з ШІМ-модуляцією. Трифазні високомоментні вентильні двигуни китайського виробництва.</p> <p><b><i>Синхронно-реактивні (вентильно-індукторні) двигуни.</i></b> Шкала потужностей промислових реалізацій, осцилограми, відео робочого процесу потужного двигуна гребних гвинтів, англomовне опис від Texas Instrument з кодом програми, деталізована модель в Матлабі двигуна з регулятором швидкості, порівняння осцилограм.</p> <p><b><i>Асинхронні двигуни</i></b> загальнопромислового застосування та серводвигуни, вибухобезпечні двигуни, двигуни низьковольтні та високовольтні, від різних вітчизняних і зарубіжних виробників. Детальне порівняння їх різних технічних характеристик, у тому числі моментів інерції на тлі ДПТНВ. Проблема відшукування значень параметрів Т-подібної схеми заміщення в інтернет-джерелах і каталогах і шляхи її вирішення, розрахункові програми. Особливості та проблеми моделювання двухкліткових двигунів і двигунів з сильним впливом ефекту витіснення струму, моделі і приклади осцилограм пуску, з яких добре видно вплив цього ефекту. Програма побудови механічних та інших характеристик для двухкліткових двигунів і двигунів з витісненням струму з урахуванням втрат в сталі.</p>	<p>Рек мендована література додана у Електронний конспект лекцій безпосередньо у вигляді файлів книжок, комп'ютерних деоматеріалів і т.і. пря моделей, мо в тексті кожної відповідної лекції.</p>
4	Л	<p><b><i>Способи пуску і регулювання швидкості мікропроцесорних асинхронних електроприводів.</i></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><i>Пристрій плавного пуску</i></b>, його характеристики, область застосування, граничні можливості, робота з замкнутим контуром струму статора, Матлаб-модель, осцилограми.</li> <li>• <b><i>Розімкнена/замкнена по швидкості система з вольт-частотним регулюванням.</i></b> Граничний діапазон регулювання, гранична швидкодія. FCC-закон регулювання потокоутворюючого струму (Сіменс-патент). Матлаб-модель і осцилограми пуску перебудженого асинхронного двигуна із забезпеченням 5-кратного пускового моменту для розбігу електромобіля. Осцилограми пуску шестиклемного двигуна при схемах з'єднання статорних обмоток типу «зірка» та «трикутник», порівняння.</li> <li>• <b><i>Векторне керування швидкістю асинхронного привода.</i></b> Дава-</li> </ul>	<p>Рек мендована література додана у Електронний конспект лекцій безпосередньо у вигляді файлів книжок, комп'ютерних деоматеріалів і т.і. пря моделей, мо в тексті кожної відповідної лекції.</p>



5	Л 2	<p>чеве і бездаваче регулювання, однозонне і двозонне, з синусоїдальною ШІМ-модуляцією і з просторово-векторної модуляцією в перетворювачі. Граничні значення діапазону регулювання і швидкодії найкращих сучасних промислових зразків. Матлаб-модель і графіки динамічних процесів у двоконтурної САР швидкості з векторним керуванням. Атлас динамічних процесів. Порівняння швидкодії з 12-пульсній системою ТП-ДПТНВ за графіками динамічних процесів, обговорення причин обмеженої швидкодії обох систем.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Пряме керування моментом (DTC) асинхронного двигуна.</i> Первинні матеріали від АВВ. Фрагменти монографії Перельмутера В. М. з осцилограмами його моделей. Матлаб-моделі з урахуванням трансформаторного/реакторного устаткування, графіки динамічних процесів, їх порівняння з графіками векторного керування. Граничні значення швидкодії в контурі регулювання моменту і точність регулювання в розімкненої/замкненої САР швидкості з DTC-управлінням.</li> <li>• <i>Модель з безпосереднім керуванням моментом, її зв'язок з DTC-керуванням, ілюстрація на осцилограмах.</i></li> </ul> <p><b>Синхронні двигуни.</b> Шкала потужностей, малопотужні двигуни та двигуни граничної потужності до 120 МВт. Області застосування у зв'язку з завданнями регулювання. Двигуни з електромагнітним збудженням і двигуни з постійними магнітами (гранична потужність промреалізацій). Сервоприводи. Їх граничні значення швидкодії і діапазону регулювання, особливості роботи на нульовій швидкості. Векторне керування синхронними двигунами. Матлаб-моделі синхронного приводу з векторним керуванням при релейному регуляторі струму і при ПІ-регуляторі струму. Порівняння моментів інерції ротора синхронних і асинхронних машин. Клієнтський формуляр і каталоги, як джерело інформації про значеннях параметрів Т-образних схем для моделювання синхронних двигунів в Матлабі.</p> <p>Коротка інформація про крокових і лінійних двигунах</p>
6	Л 2	<p><b>3. Силві вентилі в мікропроцесорному електроприводі, їх характеристики, параметри і моделювання в Матлабі</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Тирісторы</i>, їх область застосування, граничні струми і напруги, потужність приводів, Матлаб-модель і приклади осцилограм вмикання/вимикання.</li> <li>• <i>Двухопераційні тирісторы GTO і IGCT</i>, область їх застосування, граничні струми і напруги, потужність приводів, частоти комутації (ШІМ-модуляції), Матлаб-модель і приклади натурних осцилограм включення-виключення.</li> <li>• <i>IGBT-транзисторы, IEGT-транзисторы</i>, область їх застосування, граничні струми і напруги, потужність приводів, частоти комутації (ШІМ-модуляції), безструмова пауза, час вмикання/вимикання, зв'язок безструмової паузи і темпу комутації з тепловими втратами, типові втрати в статичному/динамічному режимах, призначення драйверів, Матлаб-модель, приклади модельних і</li> </ul>

7	Л	<p>натурних осцилограм вмикання-вимикання.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>FET-транзистори</b>, область їх застосування, граничні струми і напруги, потужність приводів, частоти комутації (ШІМ-модуляції).</li> </ul> <p><b>4. Перетворювачі і активні випрямлячі у мікропроцесорному електроприводі, область їх застосування, призначення, схеми, характеристики, вплив на мережу (THD), параметри, способи моделювання в пакетах Матлаб і PSIM і моделі, деталізовані графіки динамічних процесів у різних пускових і установлених режимах електроприводу, їх аналіз.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Для ЕП постійного струму</b> – пульсність (6, 12, 18), час безструмової паузи, роздільне управління, інтенсивність продажів на ринку.</li> <li>• <b>Для ЕП змінного струму</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• – перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму при 6, 12, 18, 24, 32-пульсному випрямлячі з гальмівним резистором аж до потужності приводу, рівної 1 МВт;</li> <li>• – перетворювачі частоти за схемою <i>back-to-back</i> з ШІМ-AFE-випрямлячем, що забезпечують одиничне значення <math>\cos(\phi)</math> і гармонічний струм у мережі.</li> <li>• – тиристорний регулятор напруги, як основа софтстартів</li> <li>• – безпосередній перетворювач частоти (для порівняння з постарілими зразками)</li> <li>• – матричний перетворювач частоти, осцилограми комутації (для порівняння з самим новим варіантом, широко відомим, але поки таким, що не має промислової реалізації)</li> </ul> </li> </ul> <p><b>5. Механічне обладнання, реактори, датчики. Їх місце включення, зовнішній вигляд, статичні і динамічні характеристики, граничні характеристики, точність, область ефективного застосування в системах регулювання, параметри для моделювання, моделі в пакетах Матлаб, PSIM і Vissim у складі системи електроприводу, графіки процесів.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Редуктори</b> з фіксованими передавальними числами до 10000, з регульованими значеннями і, типи редукторів, коефіцієнт жорсткості передачі (для моделювання), компонування з двигуном;</li> <li>• <b>Електромагнітні муфти та гальма</b>, керовані від перетворювача, діапазон потужностей. <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Реактори, дроселі, фільтри:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- мережеві (струмообмежуючі)</li> <li>- фільтри електромагнітної сумісності</li> <li>- синусні фільтри</li> <li>- моторні фільтри (захист двигуна від хвильових процесів)</li> </ul> </li> <li>• <b>Датчики обертаючого моменту на валу двигуна</b></li> <li>• <b>Датчики кута повороту і швидкості двигуна</b> (тахогенератори, інкрементальні і абсолютні - багатооборотні програмовані - енкодери) з оцінкою величини їхніх власних шумів, з розрахунком зв'язку між кількістю імпульсів на оберт для енкодера, верхній</li> </ul> </li> </ul>
---	---	--

			<p>і нижній частотами обертання двигуна і алгоритмом обробки імпульсів з прив'язкою до електроприводу подачі потужного верстата і корабельного дизеля.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Деякі технологічні датчики</i> (інклінометр для вимірювання кута нахилу та ін).</li> </ul> <p><b>6. Програмовані логічні контролери: сучасні реалізації (SIMATIC S7-300, SI-MATIC S7-1500 та ін.), загальна характеристика, призначення, область застосування, граничні технічні характеристики процесорів, асортимент функцій і блоків обробки цифрових і аналогових керуючих сигналів вводу/виводу і силових ланцюгів в модульній конфігурації (ЦАП, АЦП, реле, лічильники, регулятори, мережеві процесори, розподілене керування і збір інформації і т. д.), зв'язок з інформаційними мережами для обміну інформацією та для створення замкнутих систем регулювання віддалених електроприводів, стандарти і стандартизовані мови програмування LAD, STL, SCL, FBD, мова графів, Сі-компілятори, оболонка STEP7 для вибору обладнання, конфігурування системи автоматизації та написання+налагодження (з симуляцією зовнішнього середовища)+роботи керуючої програми в реальному часі.</b></p> <p><b>7. Налагоджувальне програмне забезпечення для вводу перетворювачів в роботу (Драйв-Монітор, Стартер у Сіменса).</b> Призначення, функції, приклад інтерфейсу параметризації і осцилографування динамічних процесів, типові рівні, типові блоки завдання параметрів (приводчеські, силові та інформаційні, технологічні комунікаційні, захисту). Приклади графіків осцилограм, знятих на перетворювачах фірм Сіменс, Міцубіші, АББ)</p> <p><b>8. Моделюючі програми (типу Матлаба) від виробників приводів (наприклад, Міцубіші) з бібліотеками їх промислових електротехнічних виробів і значеннями параметрів.</b></p> <p><b>9. Бібліотеки керуючих програм для автоматизації технологічних процесів і регулювання електроприводів з можливостями мережевих рішень.</b> Електронний кулачок, синхронізація двигунів, управління процесами у намоточному і друкарському обладнанні, пригнічення коливань вантажу мостового крана (фірма Rockwell Automation, Сіменс і мн. ін) і т. п. Відеоілюстрації роботи приводів під управлінням таких програм.</p>
8	Л ЛБ Пр	2 16 8	<p><b>10. Інформаційні мережі та завдання регулювання</b> Структури мереж (радіальна, магістральна). Типові промислові мережі «польового рівня» і «заводського» рівня Profibus, Ethernet, Profinet, мережа нижнього рівня (виконавчого обладнання) AS-інтерфейс, їх призначення, характеристики за кількістю абонентів, за припустимої швидкості обміну (важливо для побудови і моделювання замкнутої САП), віддаленості об'єктів управління, необ-</p>

		<p>хідності встановлення підсилювачів і погоджувальних міжмережових пристроїв, можливості виходу в інтернет. Панелі оператора для управління процесом і відображення стану процесу. Зв'язок з розподіленим управлінням. Базове програмне забезпечення мережових рішень : SCADA-системи, їх призначення, можливості, завдання приводчиків в цій галузі, виробники цього (WinCC – від Сіменса). Термінологічна довідка в області програмно-орієнтованих технологій та систем управління</p> <p style="text-align: center;"><b>11. Силові схеми перетворювачів і їх моделювання в пакеті Матлаб</b></p> <p><b>10</b>    Л    2    <i>Силові схеми транзисторних перетворювачів dc-dc</i> для приводів постійного струму, 4 режиму комутації (діагональної, симетричної, несиметричної, почергової комутації) та порядок включення транзисторів у двигунному і генераторних режимах роботи двигуна, лінійність/нелінійність перетворювача, наявність режиму безструмової паузи/переривчастих струмів, величини амплітуди пульсацій, рівномірність завантаження транзисторів, частота комутації і частота пульсацій вихідної напруги. Робота при ШІМ-модуляції і в релейному режимі. Зв'язок з порядком комутації вентилів при роботі інвертора dc-ac.</p> <p>Лб    16</p> <p>Пр    8</p> <p><i>Силові схеми перетворювачів частоти ac-ac.</i> Схеми дворівневого і трирівневого інверторів, призначення їх елементів, шляхи протікання струмів через силові вентиля та двигун, 6 секторів напруг інвертора і 8 положень вектора. Ланка постійного струму. Управління баластним резистором. Функції драйверів. Частота комутації вентилів і частота перемикачів у вихідному напрузі інвертора. Визначення ємності конденсатора в ланці постійного струму. Проблема «довгого кабелю» і моторні фільтри. Їх вплив на реалізацію векторного керування. ШІМ-комутація в транзисторах інвертора напруги та Релейний режим, еквівалентуючий його в інверторі струму при наявності зворотного зв'язку. Алгоритми комутації транзисторів інвертора та їх вплив на максимальну амплітуду його вихідної напруги. Принципи та реалізація PWM і SVM типів модуляції, алгоритм Flat Top, введення третьої гармоніки, плаваюча частота PWM-модуляції. Гіпермодуляція для підвищення вихідної напруги і її нелінійність. Графіки напруг і лінеаризація перетворювача з гіпермодуляцією. Пуск двигуна при лінеаризованому перетворювачі з гіпермодуляцією. Модель трифазного інвертора при SVM-модуляції в пакеті PSIM. Силова схема промислового приводу (ABB) з триобмоточним трансформатором і трирівневим інвертором на IGCT-вентиллях. Модель і осцилограми трирівневого інвертора в пакеті PSIM : всі струми, напруги, пульсації, розкладання на гармоніки кривич фазного струму навантаження. Схеми високовольтних електроприводів від АББ : зведена таблиця з характеристиками. 5-рівневі, 7-рівневі і 9-рівневі промислові реалізації інверторів (прикладні схем). Матричні перетворювачі : схема, модель, графіки вихідних напруг. Побудова спрощеної моделі (закон Ома+правило Кірхгофа) дворівневого інвертора з активно-індуктивним навантаженням для моделювання засобами пакету</p>
<b>11</b>	Л	2

		<p>Симулінк в лабораторних роботах і курсовому проектуванні з ШІМ-модуляцією і в ковзному режимі. Порівняння результатів. Приклади схем перетворювачів різного призначення від різних виробників.</p> <p style="text-align: center;"><b>Модуль №2</b> <b>«Електронного комплекту методичних матеріалів»</b> <b>(семестр №9, 2 кредити)</b></p> <p><b>Принципи і алгоритми (схеми+регулятори) управління в системах автоматизації і мікропроцесорному електроприводі. Їх моделювання.</b></p> <p><b>12. Дискретні регулятори при послідовної корекції</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Проектування дискретного регулятора за аналоговим прототипом, в тому числі за передавальними функціями регуляторів, отриманих методом прямого кореневого синтезу або по частотним характеристикам.</li> <li>• Побудова цифрового регулятора на базі апарату бажаних дискретних частотних характеристик розімкненої системи після перетворення безперервного опису об'єкта регулювання у дискретний час</li> <li>• Компенсаційні регулятори, як різновид послідовної корекції. Маючи безперервне опис об'єкта регулювання, вибираємо бажану передавальну функцію замкненої системи і знаходимо передавальну функцію регулятора. Маємо кілька варіантів отримання <math>W(z)</math> регулятора в залежності від того, що і коли оцифруємо в ході синтезу. Ці регулятори непридатні для роботи з нестійкими об'єктами і погані для слабодемпфованих. Схема, порядок синтезу регулятора, результуюча передавальна функція.</li> <li>• Регулятор з кінцевим часом встановлення – теж різновид послідовної корекції з тими ж недоліками. Він забезпечує закінчення перехідного процесу в синтезованій дискретній системі за заданою кількістю тактів, але не менше, ніж порядок об'єкта регулювання. При виборі більшої кількості тактів вдається обмежити амплітуду вхідного сигналу на об'єкт регулювання. Схема, порядок синтезу регулятора, результуюча передавальна функція при синтезі з мінімальним числом тактів і з обмеженням на керуючий сигнал.</li> <li>• Послідовний регулятор, що компенсує чисте запізнення в об'єкті. Регулятори Ресвика і Сміта.</li> </ul>
13	Л 2	<p><b>2. Системи з паралельною корекцією (метод простору стану)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Сімейство Модальних регуляторів з повністю керованими коренями і з неповністю керованими.</i></li> <li>• <i>Сімейство лінійних Оптимальних регуляторів при різних критеріях оптимізації, що включають/не включають час і різних елементах вагових матриць, зокрема, LQR. Фізична трактування квадратичних форм від змінної стану, як запасеної енергії.. Вибір</i></li> </ul>

14	Л 2	<p>змінної стану або їх сукупності для оптимізації. Вибір вихідної координати об'єкта для оптимізації (LQR по виходу). Структурна схема оптимального регулятора та її ідентичність схемі з модальним регулятором. Порівняння модального та оптимального регуляторів з точки зору мети і процедури синтезу, а також отриманих результатів. Емпіричність вибору середньгеометричного кореня, стандартних розподілів коренів і вагових матриць. Статизм за управлінням, статизм за збуренням і введення III-частини регуляторів, що усуває цей недолік. Отримана структурна схема і можливість її «неоптимального» налаштування без використання матричних перетворень. Поконтурне налаштування модального регулятора від внутрішнього контуру до зовнішнього. Перетворення системи регулювання з модальним регулятором у систему підпорядкованого керування з багаторазовоінтегруючим послідовним регулятором швидкості. Графіки динамічних процесів.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Нелінійний LQR регулятор</i> для нелінійного об'єкта при поліноміальній інтерполяції статичної нелінійності кривою 3-го порядку.</li> </ul> <p><b>13. Спостерігачі в системах з паралельною корекцією. Схеми, властивості і синтез.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Спостерігачі повного порядку з дискретизацією за аналоговим прототипом.</li> <li>• Приведення аналогового спостерігача до однієї з канонічних форм цифрових фільтрів (порушується ідентичність структурної схеми об'єкта регулювання)</li> <li>• Синтез цифрового спостерігача після дискретизації безперервного опису об'єкта регулювання (повністю втрачається первинна структура об'єкта) <ul style="list-style-type: none"> <li>• Налаштування дискретного спостерігача за обраними стандартними розподілами його коренів, кінцевим часом встановлення або за алгоритмом LQR</li> <li>• Структурне перетворення спостерігача з модальним (оптимальним) регулятором до одного послідовного регулятор з передавальною функцією високого порядку.</li> </ul> </li> <li>• Спостерігачі повного порядку, побудовані для декількох частин одного об'єкта регулювання.</li> <li>• Спостерігачі повного порядку з корекцією за кількома сигналам з датчиків об'єкта</li> <li>• Спостерігачі повного порядку для систем з кубічної статичною нелінійністю.</li> <li>• Лінійні спостерігачі з розширеним простором стану для видалення помилки відновлення координат</li> <li>• Редуковані спостерігачі зі структурою, яка не збігається зі структурою об'єкта. Усунення цього недоліку для полегшення налаштування системи.</li> </ul>
15	Л 2	<p><b>14. Пристрої параметричної офлайн і онлайн-ідентифікації</b></p> <p><b>15. Робастні методи синтезу.</b> Мета синтезу та математичний апарат. <math>H_\infty</math> і <math>\mu</math>-синтез. Тип одержуваних регуляторів, їх порядок. Синтез для нестійких об'єктів. Зв'язок з апаратом частотних</p>

16	Л	2	характеристик. Приклад отриманого в Матлабі регулятора для двухмасової моделі з синхронним двигуном з постійними магнітами, релейним регулятором струму і робастним регулятором швидкості. Оцінювання робастності синтезованої двухмасової системи з модальним регулятором з використанням частотних характеристик, перехідних характеристик і генератора випадкових чисел в циклічному m-файлі в Матлабі.
			<p><b>16. Побудова АЧХ і ФЧХ екстраполятору нульового порядку і дискретного інтегратора без застосування апарату частотних характеристик</b> для з'ясування фізичного змісту деформації аналогового сигналу при його квантуванні за часом.</p> <p><b>Узагальнення вивчених матеріалів курсу. Методичні рекомендації з підготовки до іспиту та захисту курсового проекту</b></p>

Примітки

\*\*\* Рекомендована література додана у Електронний конспект лекцій безпосередньо у вигляді файлів книжок, комп'ютерних моделей, аудіо і відеоматеріалів і т.і. прямо в тексті кожної відповідної лекції. Потрібні для опанування сторінки книжок виділені кольором.

### СПИСОК лабораторних робіт за дисципліною

№ п/п	Назва лабораторної роботи	Кількість годин	Тиждень проведення	Методичне забезпечення
1	Исследование электропривода по системе ПЧ-АД на базе преобразователя SIMOVERT фирмы SIEMENS	4	1÷4	Видані (розмножені) методичні вказівки до кожної роботи
2	Изучение программируемого логического контроллера SIMATIC S7-300 фирмы SIEMENS	4	5÷7	
3	Изучение промышленного программного обеспечения SIMATIC.Базовый пакет программ STEP7.	4	8÷12	
4	Изучение языков программирования LAD и STL	4	12÷16	

### ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Тема занять	Терміни виконання (на якому тижні)
1. Вивчення електроприводу за системою ПЧ-АД на базі перетворювача SIMOVERT фірми SIEMENS.	1-4
2. Вивчення програмованого логічного контролера SIMATIC S7-300 фірми SIEMENS	5-7
3. Вивчення промислового програмного забезпечення SIMATIC.Базовий пакет програм STEP7	8-11
4. Вивчення мов програмування LAD і STL.	12-15

## САМОСТІЙНА РОБОТА

№ з/п	Назва видів самостійної роботи	Кількість годин
1	Опрацювання лекційного матеріалу	16
2	Підготовка до проведення практичних занять, до проведення та здачі лабораторних робіт. Оформлення звітів по лабораторним роботам	16
3	Виконання курсової роботи	38
4	Самостійне вивчення тем та питань, які не викладаються на лекційних заняттях (в тому разі практика моделювання в пакеті МАТЛАБ)	10
5	Інші види самостійної роботи	6
	Разом	86

## ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

### Курсова робота

(вид індивідуального завдання)

№ з/п	Назва індивідуального завдання та (або) його розділів	Терміни виконання
1	<p><b>«Розробка моделі зразка промислового асинхронного електропривода та його моделювання у пакеті SimPowerSystem»</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Робота в інтернеті щодо вибору механізму і приводу за інтересом студента;</li> <li>• Розрахунки характеристик силової частини з асинхронним двигуном обраного механізму, побудова механічних характеристик асинхронного двигуна в пакеті Матлаб з урахуванням ефекту витіснення струму та при різних способах регулювання швидкості;</li> <li>• Обрання перетворювача частоти або пристрою м'якого пуску та іншого електрообладнання відповідно до обраного електроприводу;</li> <li>• Розрахунок значень параметрів обраного електрообладнання;</li> <li>• Розробка та отладка комп'ютерних моделей розроблюваного асинхронного електроприводу у пакеті Матлаб з двоохривневими та трьохривневими інверторами або пристроєм м'якого пуску ;</li> <li>• Проведення компютерного експерименту, аналіз графіків динамічних процесів пуску та регулювання в електричній та механічній частинах привода, отримання заключень.</li> <li>• Розрахунок вартості розробленого електроприводу</li> <li>• Захист проекту (з використанням мультимедійного проектура)</li> </ul>	1-2
2		3-5
3		6
4		7
5		8-10
6		11-14
7		15-16 15-16



## **МЕТОДИ НАВЧАННЯ**

(надається опис методів навчання)

Процес навчання по даній дисципліні передбачає проведення лекцій, виконання курсового проекту, лабораторних робіт, самостійну роботу та консультації.

При проведенні лекцій використовується пояснювально-ілюстраційний метод, при якому викладач доводить готову інформацію різними засобами, а студенти її сприймають, усвідомлюють та фіксують у пам'яті. Цей метод передбачає використання таких засобів інформації, як слово (усне і друковане), наочні демонстрації роботи різних комп'ютерних моделей у пакетах, що розглядаються, та Електронний конспект, що акумулює увесь матеріал дисципліни з текстом, схемами, зображеннями, аудіо та відео-матеріалами, математичними і комп'ютерними моделями, вкладеними до нього файлами книжок та багато іншого. Інтегрований електронний конспект завантажений у Хмару і доступний студентам з першого дня занять. Комп'ютерні тести для знань не передбачені у зв'язку з неформалізуємим змістом дисципліни для майже сформованих інженерів. Еквівалентом поточного самотестування знань є виконання курсового проекту з щотижневими індивідуальними консультаціями студентів щодо його виконання.

Самостійна робота є основним засобом засвоєння навчального матеріалу в час, вільний від обов'язкових видів навчальної діяльності. Студент повинен навчитись вільно моделювати типові електромеханічні системи в пакеті МАТ-ЛАБ, в тому числі і для виконання курсового проекту, розглянути теми за рекомендованою літературою, зазначеною робочою програмою навчальної дисципліни.

## **МЕТОДИ КОНТРОЛЮ**

(надається опис методів контролю)

Система контролю якості навчання студентів включає проведення поточного контролю у ході щотижневих індивідуальних консультацій щодо виконання курсового проекту та підсумкового контролю у вигляді публічного захисту проекту (з використанням мультимедійного проектора) та/або екзамену.

Контроль складової робочої програми, яка освоюється під час самостійної роботи студента з додатковим лекційним матеріалом, проводиться шляхом опитування студентів в ході консультацій.

Семестровий контроль проводиться за умови виконанні лабораторних робіт та в обсязі навчального матеріалу, визначеного навчальною програмою і у терміни, встановлені навчальним планом або за рейтинговою оцінкою з урахуванням побажання кожного студента окремо. Остання форма контролю реалізується в усній формі по результатах публічного проведення захисту курсового проекту (з використанням мультимедійного проектора) з обов'язковим детальним усним обговоренням наданих відповідей.

Студент вважається допущеним до семестрового екзамену з навчальної дисципліни за умови повного відпрацювання поточного контролю, передбаченого навчальною програмою з дисципліни (курсний проект та лабораторні роботи).

## РОЗПОДІЛ БАЛІВ, ЯКІ ОТРИМУЮТЬ СТУДЕНТИ, ТА ШКАЛА ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ ТА УМІНЬ (НАЦІОНАЛЬНА ТА ECTS)

Таблиця 1. Розподіл балів для оцінювання поточної успішності студента

Поточне тестування та самостійна робота										Сума
<b>Змістовий модуль 1 – 70</b>										
T1–6	T2–6	T3–6	T4–6	T5–6	T6–6	T7–6	T8–6	T9–6	T10–6	
T11–4										
<b>Змістовий модуль 2 – 30</b>										
T12–6	T13–6	T14–6	T15–6	T16–6						100

T1, T2, T3 – номери тем змістових модулів.

Таблиця 2. Шкала оцінювання знань та умінь: національна та ЄКТС

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90 ... 100	A	відмінно
82 ... 89	B	добре
74 ... 81	C	
64 ... 73	D	задовільно
60 ... 63	E	
35 ... 59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання
0 ... 34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

### Критерії та система оцінювання знань та вмінь студентів.

Згідно основних положень ЄКТС, під **системою оцінювання** слід розуміти сукупність методів (письмові, усні і практичні тести, екзамени, проекти, тощо), що використовуються при оцінюванні досягнень особами, що навчаються, очікуваних результатів навчання.

Успішне оцінювання результатів навчання є передумовою присвоєння кредитів особі, що навчається. Тому твердження про результати вивчення компонентів програм завжди повинні супроводжуватися зрозумілими та відповідними **критеріями оцінювання** для присвоєння кредитів. Це дає можливість стверджувати, чи отримала особа, що навчається, необхідні знання, розуміння, компетенції.

**Критерії оцінювання** – це описи того, що як очікується, має зробити особа, яка навчається, щоб продемонструвати досягнення результату навчання.

Основними концептуальними положеннями системи оцінювання знань та вмінь студентів є:

1. Підвищення якості підготовки і конкурентоспроможності фахівців за рахунок стимулювання самостійної та систематичної роботи студентів протягом навчального семестру, встановлення постійного зворотного зв'язку викладачів з кожним студентом та своєчасного коригування його навчальної діяльності.

2. Підвищення об'єктивності оцінювання знань студентів відбувається за рахунок контролю протягом семестру із використанням 100 бальної шкали (табл. 3). Оцінки обов'язково переводять у національну шкалу (з виставленням державної семестрової оцінки „відмінно”, „добре”, „задовільно” чи „незадовільно”) та у шкалу ECTS (A, B, C, D, E, FX, F) (табл. 4).

Таблиця 3 – Шкала оцінювання знань та умінь: національна та ECTS

Рейтингова Оцінка, бали	Оцінка ECTS та її визначення	Національна оцінка	Критерії оцінювання	
			позитивні	негативні
1	2	3	4	5
90-100	A	Відмінно	- <b>Глибоке знання</b> навчального матеріалу модуля, що містяться в <b>основних і додаткових літературних джерелах</b> ; - <b>вміння аналізувати</b> явища, які вивчаються, в їхньому взаємозв'язку і розвитку; - <b>вміння проводити теоретичні розрахунки</b> ; - <b>відповіді на запитання чіткі, лаконічні, логічно послідовні</b> ; - <b>вміння вирішувати складні практичні задачі.</b>	Відповіді на запитання можуть містити <b>незначні неточності</b>

82-89	В	Добре	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Глибокий рівень знань</b> в обов'язкового матеріалу, що передбачений модулем;</li> <li>- вміння давати <b>аргументовані відповіді</b> на запитання і проводити <b>теоретичні розрахунки</b>;</li> <li>- вміння вирішувати <b>складні практичні задачі</b>.</li> </ul>	Відповіді на запитання містять <b>певні неточності</b> ;
75-81	С	Добре	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Міцні знання</b> матеріалу, що вивчається, та його <b>практичного застосування</b>;</li> <li>- вміння давати <b>аргументовані відповіді</b> на запитання і проводити <b>теоретичні розрахунки</b>;</li> <li>- вміння вирішувати <b>практичні задачі</b>.</li> </ul>	- невміння використовувати теоретичні знання для вирішення <b>складних практичних задач</b> .
64-74	Д	Задовільно	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Знання <b>основних фундаментальних положень</b> матеріалу, що вивчається, та їх <b>практичного застосування</b>;</li> <li>- вміння вирішувати прості <b>практичні задачі</b>.</li> </ul>	Невміння давати <b>аргументовані відповіді</b> на запитання; - невміння <b>аналізувати</b> викладений матеріал і <b>виконувати</b>

				<p><b>розрахунки;</b>  - невміння вирішувати <b>складні практичні задачі.</b></p>
60-63	Е	Задовільно	<p>- Знання <b>основних фундаментальних положень</b> матеріалу модуля;  - вміння вирішувати <b>найпростіші практичні задачі.</b></p>	<p>Незнання <b>окремих (непринципових) питань</b> з матеріалу модуля;  - невміння <b>попередньо і аргументовано</b> висловлювати думку;  - невміння застосовувати теоретичні положення при розв'язанні <b>практичних задач</b></p>
35-59	FX (потрібне додаткове вивчення)	Незадовільно	<p><b>Додаткове вивчення</b> матеріалу модуля може бути виконане <b>в терміни, що передбачені навчальним планом.</b></p>	<p>Незнання <b>основних фундаментальних положень</b> навчального матеріалу модуля;  - <b>істотні помилки</b> у відповідях на запитання;  - невміння розв'язувати <b>прості практичні задачі.</b></p>
1-34	Ф (потрібне повторне вивчення)	Незадовільно	-	<p>- Повна <b>відсутність знань</b> значної частини навчального матеріалу модуля;  - <b>істотні помилки</b> у відповідях на запитання;  - незнання основних фундаментальних положень;  - невміння орієнтуватися під час розв'язання <b>простих практичних задач</b></p>

Таблиця 4. Шкала оцінювання знань та умінь: національна та ЄКТС

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90 ... 100	A	відмінно
82 ... 89	B	добре
74 ... 81	C	
64 ... 73	D	задовільно
60 ... 63	E	
35 ... 59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання
0 ... 34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

## НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

(надається перелік складових навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни та посилання на сайт, де вони розташовані)

Навчально-методичне забезпечення навчальної дисципліни включає:

- Електронний інтегрований матеріал з текстом лекцій та з доданими в нього аудіо-, відео- та графічним матеріалом, повним текстом рекомендованих книжок, прикладами виконання курсового проекту, потрібними посиланнями на інтернет-ресурси та розробленими автором комп'ютерними моделями, що використовуються під час читання лекцій та у ході самостійної роботи студента;
- рекомендовану літературу, що включено до Електронного конспекту лекцій у вигляді повного тексту книжок;
- питання для поточного модульного контролю;
- питання для підсумкового контролю знань студентів у формі публічного захисту курсового проекту/екзамену.

### РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базову та допоміжну літературу у вигляді списку та безпосередньо повного тексту рекомендованих книжок включено до Інтегрованого Електронного комплексу всіх методичних матеріалів до вивчення трьох дисциплін, що викладаються автором : «Моделювання електромеханічних систем», " Моделювання та задачі синтезу мікропроцесорних електроприводів", та «Основи мікропроцесорної техніки».

Цей Інтегрований Електронний комплект завантажений у Хмарове сховище інтернету за посиланням:

[https://drive.google.com/open?id=0B5btBNUO\\_z68NC1OaVQxU2U3UjA](https://drive.google.com/open?id=0B5btBNUO_z68NC1OaVQxU2U3UjA)

### ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В ІНТЕРНЕТІ

(перелік інформаційних ресурсів, розроблених викладачем та завантаженим в Хмарове сховище інтернету)

Інтегрований Електронний комплект усіх методичних матеріалів до вивчення трьох дисциплін, що викладаються автором : «Моделювання електромеханічних систем», «Моделювання електроенергетичних та електромеханічних систем», та «Основи мікропроцесорної техніки»:

[https://drive.google.com/open?id=0B5btBNUO\\_z68NC1OaVQxU2U3UjA](https://drive.google.com/open?id=0B5btBNUO_z68NC1OaVQxU2U3UjA)