Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Кафедра електропривода

«ЗАТВЕРДЖЕНО»
завідувач кафедри
_____ Худолій С.С.

«31» серпня 2021 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«Силові перетворювачі автоматизованих електроприводів»

Галузь знань ……..…	14 Електрична інженерія
Спеціальність ……...	141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітній рівень…….	Перший (бакалаврський)
Освітня програма …….	Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (скорочений термін навчання)
Статус ……	вибіркова
Загальний обсяг ..…….	4 кредити ЄКТС (120 годи)
Форма підсумкового контролю ……..	Диференційований залік
Термін викладання ……..	5-й семестр
Мова викладання …….	українська

Викладач: Казачковський М.М.

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____(_____) «__»___ 20__р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____(_____) «__»___ 20__р.
(підпис, ПІБ, дата)

Дніпро
НТУ «ДП»
2021

Робоча програма навчальної дисципліни «Силові перетворювачі автоматизованих електроприводів» для бакалаврів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка», каф. електропривода. – Д. : НТУ «ДП», 2021. – 13 с.

Розробник – проф. Казачковський М.М.

Робоча програма регламентує:

–мету дисципліни;
–дисциплінарні результати навчання, сформовані на основі трансформації очікуваних результатів навчання освітньої програми;
–базові дисципліни;
–обсяг і розподіл за формами організації освітнього процесу та видами навчальних занять;
–програму дисципліни (тематичний план за видами навчальних занять);
–алгоритм оцінювання рівня досягнення дисциплінарних результатів навчання (шкали, засоби, процедури та критерії оцінювання);
–інструменти, обладнання та програмне забезпечення;
–рекомендовані джерела інформації.

Робоча програма призначена для реалізації компетентнісного підходу під час планування освітнього процесу, викладання дисципліни, підготовки студентів до контрольних заходів, контролю провадження освітньої діяльності, внутрішнього та зовнішнього контролю забезпечення якості вищої освіти, акредитації освітніх програм у межах спеціальності.

Робоча програма буде корисною для формування змісту підвищення кваліфікації науково-педагогічних працівників кафедр університету.

Погоджено рішенням науково-методичної комісії спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (протокол НМК 21/22-01 від 30.08.2021).

ЗМІСТ

1 МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИЦИПЛІНИ 4
2 ОЧІКУВАНІ ДИСЦИПЛІНАРНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ 4
3 БАЗОВІ ДИСЦИПЛІНИ 4
4 ОБСЯГ І РОЗПОДІЛ ЗА ФОРМАМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ ТА ВИДАМИ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ 5
6 ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ 6
6.1 Шкали 6
6.2 Засоби та процедури 7
6.3 Критерії 8
7 ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 11
8 РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ 11

1 МЕТА НАВЧАЛЬНОЇ ДИЦИПЛІНИ

Мета дисципліни – формування компетентностей щодо побудови, принципу дії та аналізу процесів у перетворювачах електричної енергії для електроприводів.

Реалізація мети вимагає трансформації програмних результатів навчання в дисциплінарні та адекватний відбір змісту навчальної дисципліни за цим критерієм.

2 ОЧІКУВАНІ ДИСЦИПЛІНАРНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Дисциплінарні результати навчання (ДРН)	
шифр ДРН	**зміст**
ДРН.1	Розуміти загальні принципи побудови силових перетворювачів енергії
ДРН.2	Розуміти принцип дії, призначення та аналізувати процеси у керованих випрямлячах
ДРН.3	Розуміти принцип дії, призначення та аналізувати процеси у переривниках постійного струму
ДРН.4	Розуміти принцип дії, призначення та аналізувати процеси у автономних інверторах і перетворювачах частоти
ДРН.5	Розуміти принцип дії, призначення та аналізувати процеси у тиристорних регуляторах змінного струму

3 БАЗОВІ ДИСЦИПЛІНИ

Назва дисципліни	**Здобуті результати навчання**
Ф7 Електроніка, мікропроцесорна техніка та засоби автоматизації	ПР06 Застосовувати прикладне програмне забезпечення, мікроконтролери та мікропроцесорну техніку для вирішення практичних проблем у професійній діяльності
Б5 Теоретичні основи електротехніки	ПР05 Знати основи теорії електромагнітного поля, методи розрахунку електричних кіл та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.

4 ОБСЯГ І РОЗПОДІЛ ЗА ФОРМАМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ ТА ВИДАМИ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ

Вид навчальних занять	**Обсяг,** *години*	**Розподіл за формами навчання**, *години*					
		денна		**вечірня**		**заочна**	
		аудиторні заняття	самостійна робота	аудиторні заняття	самостійна робота	аудиторні заняття	самостійна робота
лекційні	70	26	44	-	-	6	64
практичні	-	-	-	-	-	-	-
лабораторні	50	13	37	-	-	6	44
семінари	-	-	-	-	-	-	-
РАЗОМ	120	39	81	-	-	12	18

5 ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ ЗА ВИДАМИ НАВЧАЛЬНИХ ЗАНЯТЬ

Шифри ДРН	**Види та тематика навчальних занять**	**Обсяг складових,** *години*
	ЛЕКЦІЇ	**70**
ДРН.1	**1 Перетворювачі електричної енергії в сучасному електроприводі**	8
	Місце та роль перетворювачів енергії (ПЕ) в електроприводі	
	Класифікація ПЕ	
	Силові ключі сучасних ПЕ	
ДРН.2	**2 Керовані випрямлячі**	22
	Побудова та робота однофазних та трифазних керованих випрямлячів (КВ) у випрямному режимі	
	Інверторний режим КВ	
	Природна комутація у КВ	
	Регулювальні та зовнішні характеристики КВ	
	Системи імпульсно-фазового керування випрямлячами	
	Реверсивні випрямлячі	
	Енергетичні характеристики випрямлячів	
ДРН.3	**3 Переривники постійного струму**	10
	Принцип однополярної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Найпростіший послідовний переривник постійного струму	
	Паралельний та двоквадрантний переривники	
	Реверсивні переривники. Двополярна ШІМ	
	Системи керування переривниками	
ДРН.4	**4 Автономні інвертори та перетворювачі частоти**	22
	Однофазний автономний інвертор напруги (АІН) з амплітудною модуляцією	
	Трифазний АІН з амплітудною модуляцією	
	Робота АІН на проти-ЕРС	
	АІН з ШІМ	
	Однофазний та трифазні автономні інвертори струму (АІС)	
	Робота АІС на проти-ЕРС. АІС, ведений навантаженням	
	АІС із ШІМ	
	Безпосередні перетворювачі частоти (БПЧ) з природною комутацією	

Шифри ДРН	Види та тематика навчальних занять	Обсяг складових, *години*
	БПЧ із штучною комутацією	
ДРН.5	**5 Тиристорні регулятори змінного струму**	8
	Принцип дії тиристорних регуляторів змінного струму	
	Використання тиристорних регуляторів. Пристрої плавного пуску	
	ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ	**50**
ДРН.2	Дослідження роботи однофазних керованих випрямлячів	10
ДРН.2	Дослідження однофазного мостового випрямляча при роботі на проти-ЕРС	8
ДРН.3	Дослідження нереверсивних переривників постійної напруги	8
ДРН.3	Дослідження реверсивних переривників постійної напруги	8
ДРН.4	Дослідження однофазних автономних інверторів напруги	8
ДРН.4	Дослідження трифазних автономних інверторів напруги	8
	РАЗОМ	**120**

6 ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Сертифікація досягнень студентів здійснюється за допомогою прозорих процедур, що ґрунтуються на об’єктивних критеріях відповідно до Положення університету «Про оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти».

Досягнутий рівень компетентностей відносно очікуваних, що ідентифікований під час контрольних заходів, відображає реальний результат навчання студента за дисципліною.

6.1 Шкали

Оцінювання навчальних досягнень студентів НТУ «ДП» здійснюється за рейтинговою (100-бальною) та інституційною шкалами. Остання необхідна (за офіційною відсутністю національної шкали) для конвертації (переведення) оцінок здобувачів вищої освіти різних закладів.

Шкали оцінювання навчальних досягнень студентів НТУ «ДП»

Рейтингова	Інституційна
90…100	відмінно / Excellent
74…89	добре / Good
60…73	задовільно / Satisfactory
0…59	незадовільно / Fail

Кредити навчальної дисципліни зараховується, якщо студент отримав підсумкову оцінку не менше 60-ти балів. Нижча оцінка вважається академічною заборгованістю, що підлягає ліквідації відповідно до Положення про організацію освітнього процесу НТУ «ДП».

6.2 Засоби та процедури

Зміст засобів діагностики спрямовано на контроль рівня сформованості знань, умінь, комунікації, автономії та відповідальності студента за вимогами НРК до 6-го кваліфікаційного рівня під час демонстрації регламентованих робочою програмою результатів навчання.

Студент на контрольних заходах має виконувати завдання, орієнтовані виключно на демонстрацію дисциплінарних результатів навчання (розділ 2).

Засоби діагностики, що надаються студентам на контрольних заходах у вигляді завдань для поточного та підсумкового контролю, формуються шляхом конкретизації вихідних даних та способу демонстрації дисциплінарних результатів навчання.

Засоби діагностики (контрольні завдання) для поточного та підсумкового контролю дисципліни затверджуються кафедрою.

Види засобів діагностики та процедур оцінювання для поточного та підсумкового контролю дисципліни подано нижче.

Засоби діагностики та процедури оцінювання

ПОТОЧНИЙ КОНТРОЛЬ			**ПІДСУМКОВИЙ КОНТРОЛЬ**	
навчальне заняття	**засоби діагностики**	**процедури**	**засоби діагностики**	**процедури**
лекції	контрольні завдання за кожною темою	виконання завдання під час лекцій	комплексна контрольна робота (ККР)	визначення середньозваженого результату поточних контролів; виконання ККР під час заліку за бажанням студента
лабораторні	контрольні завдання за кожною лабораторною роботою	виконання завдань під час лабораторних робіт		

Під час поточного контролю лекційні заняття оцінюються шляхом визначення якості виконання контрольних конкретизованих завдань. Практичні заняття оцінюються якістю виконання контрольного або індивідуального завдання.

Якщо зміст певного виду занять підпорядковано декільком складовим опису кваліфікаційного рівня НРК, то інтегральне значення оцінки може визначатися з урахуванням вагових коефіцієнтів, що встановлюються викладачем.

За наявності рівня результатів поточних контролів з усіх видів навчальних занять не менше 60 балів, підсумковий контроль здійснюється без участі студента шляхом визначення середньозваженого значення поточних оцінок.

Незалежно від результатів поточного контролю кожен студент під час екзамену має право виконувати ККР, яка містить завдання, що охоплюють ключові дисциплінарні результати навчання.

Кількість конкретизованих завдань ККР повинна відповідати відведеному часу на виконання. Кількість варіантів ККР має забезпечити індивідуалізацію завдання.

Значення оцінки за виконання ККР визначається середньою оцінкою складових (конкретизованих завдань) і є остаточним.

Інтегральне значення оцінки виконання ККР може визначатися з урахуванням вагових коефіцієнтів, що встановлюється кафедрою для кожної складової опису кваліфікаційного рівня НРК.

6.3 Критерії

Реальні результати навчання студента ідентифікуються та вимірюються відносно очікуваних під час контрольних заходів за допомогою критеріїв, що описують дії студента для демонстрації досягнення результатів навчання.

Для оцінювання виконання контрольних завдань під час поточного контролю лекційних і практичних занять в якості критерія використовується коефіцієнт засвоєння, що автоматично адаптує показник оцінки до рейтингової шкали:

$$O_i = 100\ a/m,$$

де a – число правильних відповідей або виконаних суттєвих операцій відповідно до еталону рішення; m – загальна кількість запитань або суттєвих операцій еталону.

Індивідуальні завдання та комплексні контрольні роботи оцінюються експертно за допомогою критеріїв, що характеризують співвідношення вимог до рівня компетентностей і показників оцінки за рейтинговою шкалою.

Зміст критеріїв спирається на компетентністні характеристики, визначені НРК для бакалаврського рівня вищої освіти (подано нижче).

Загальні критерії досягнення результатів навчання для 6-го кваліфікаційного рівня за НРК

Опис кваліфікаційного рівня	**Вимоги до знань, умінь, комунікації, автономності та відповідальності**	**Показник оцінки**
	Знання	
Концептуальні наукові та практичні знання, критичне осмислення теорій, принципів, методів і понять у сфері професійної діяльності та/або навчання	Відповідь відмінна – правильна, обґрунтована, осмислена. Характеризує наявність: - спеціалізованих концептуальних знань на рівні новітніх досягнень; - критичне осмислення проблем у навчанні та/або професійній діяльності та на межі предметних галузей	95-100
	Відповідь містить негрубі помилки або описки	90-94
	Відповідь правильна, але має певні неточності	85-89
	Відповідь правильна, але має певні неточності й недостатньо обґрунтована	80-84

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь, комунікації, автономності та відповідальності	Показник оцінки
	Відповідь правильна, але має певні неточності, недостатньо обґрунтована та осмислена	75-79
	Відповідь фрагментарна	70-74
	Відповідь демонструє нечіткі уявлення студента про об'єкт вивчення	65-69
	Рівень знань мінімально задовільний	60-64
	Рівень знань незадовільний	<60
	Уміння/навички	
Поглиблені когнітивні та практичні уміння/навички, майстерність та інноваційність на рівні, необхідному для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем у сфері професійної діяльності або навчання	Відповідь характеризує уміння: - виявляти проблеми; - формулювати гіпотези; - розв'язувати проблеми; - оновлювати знання; - інтегрувати знання; - провадити інноваційну діяльность; - провадити наукову діяльність	95-100
	Відповідь характеризує уміння застосовувати знання в практичній діяльності з негрубими помилками	90-94
	Відповідь характеризує уміння застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації однієї вимоги	85-89
	Відповідь характеризує уміння застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації двох вимог	80-84
	Відповідь характеризує уміння застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації трьох вимог	75-79
	Відповідь характеризує уміння застосовувати знання в практичній діяльності, але має певні неточності при реалізації чотирьох вимог	70-74
	Відповідь характеризує уміння застосовувати знання в практичній діяльності при виконанні завдань за зразком	65-69
	Відповідь характеризує уміння застосовувати знання при виконанні завдань за зразком, але з неточностями	60-64
	Рівень умінь незадовільний	<60
	Комунікація	
♦ донесення до фахівців і нефахівців інформації, ідей, проблем, рішень, власного досвіду та аргументації ♦ збір, інтерпретація та застосування даних ♦ спілкування з професійних питань,	Зрозумілість відповіді (доповіді). Мова: - правильна; - чиста; - ясна; - точна; - логічна; - виразна; - лаконічна. Комунікаційна стратегія: - послідовний і несуперечливий розвиток думки; - наявність логічних власних суджень;	95-100

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь, комунікації, автономності та відповідальності	Показник оцінки
у тому числі іноземною мовою, усно та письмово	- доречна аргументації та її відповідність відстоюваним положенням; - правильна структура відповіді (доповіді); - правильність відповідей на запитання; - доречна техніка відповідей на запитання; - здатність робити висновки та формулювати пропозиції; - використання іноземних мов у професійній діяльності	
	Достатня зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія з незначними хибами	90-94
	Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано три вимоги)	85-89
	Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано чотири вимоги)	80-84
	Добра зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано п’ять вимог)	75-79
	Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та доречна комунікаційна стратегія (сумарно не реалізовано сім вимог)	70-74
	Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та комунікаційна стратегія з хибами (сумарно не реалізовано дев’ять вимог)	65-69
	Задовільна зрозумілість відповіді (доповіді) та комунікаційна стратегія з хибами (сумарно не реалізовано 10 вимог)	60-64
	Рівень комунікації незадовільний	<60
Автономність та відповідальність		
♦ управління складною технічною або професійною діяльністю чи проектами ♦ спроможність нести відповідальність за вироблення та ухвалення рішень у непередбачуваних робочих та/або навчальних контекстах формування суджень, що враховують	Відмінне володіння компетенціями: - використання принципів та методів організації діяльності команди; - ефективний розподіл повноважень в структурі команди; - підтримка врівноважених стосунків з членами команди (відповідальність за взаємовідносини); - стресовитривалість; - саморегуляція; - трудова активність в екстремальних ситуаціях; - високий рівень особистого ставлення до справи; - володіння всіма видами навчальної діяльності; - належний рівень фундаментальних знань; - належний рівень сформованості загальнонавчальних умінь і навичок	95-100
	Упевнене володіння компетенціями автономності та відповідальності з незначними хибами	90-94

Опис кваліфікаційного рівня	Вимоги до знань, умінь, комунікації, автономності та відповідальності	Показник оцінки
соціальні, наукові та етичні аспекти ♦ організація та керівництво професійним розвитком осіб та груп ♦ здатність продовжувати навчання із значним ступенем автономії	Добре володіння компетенціями автономності та відповідальності (не реалізовано дві вимоги)	85-89
	Добре володіння компетенціями автономності та відповідальності (не реалізовано три вимоги)	80-84
	Добре володіння компетенціями автономності та відповідальності (не реалізовано чотири вимоги)	75-79
	Задовільне володіння компетенціями автономності та відповідальності (не реалізовано п’ять вимог)	70-74
	Задовільне володіння компетенціями автономності та відповідальності (не реалізовано шість вимог)	65-69
	Задовільне володіння компетенціями автономності та відповідальності (рівень фрагментарний)	60-64
	Рівень автономності та відповідальності незадовільний	<60

7 ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Технічні засоби навчання.
Дистанційна платформа MOODLE, MS Teams

8 РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

8.1 Основні

1. Казачковський М.М. Керовані випрямлячі. – Дніпропетровськ: НГА України, 1999. – 228 с.
2. Казачковський М.М. Автономні перетворювачі та перетворювачі частоти. – Дніпро: НГУ, 2017. – 324 с.
3. Силові перетворювачі автоматизованих електроприводів». Збірник методичних вказівок до лабораторних занять та самостійної роботи (Частина 1. Керовані випрямлячі) для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/ М.М. Казачковський; НТУ «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ «ДП», 2018. – 66 с.
4. Силові перетворювачі автоматизованих електроприводів». Збірник методичних вказівок до лабораторних занять та самостійної роботи (Частина 2. Переривники та перетворювачі частоти) для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/ М.М. Казачковський; НТУ «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ «ДП», 2018. – 61 с.

8.2 Додаткові

1. Електроніка і мікросхемотехніка: У 4-х т.т. /В.І.Сенько, М.В.Панасенко, Є.В.Сенько та ін. – К.: Обереги. – Т.1. Елементна база електронних пристроїв. – 2000. – 300 с.
2. Шавьолкін О.О., Наливайко О.М. Перетворювальна техніка: Навч. посібник. – Краматорськ: Донбаська ДМА, 2008. – 328 с.

3. Bose Bimal K. Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends. – Elsevier, 2006. – 917 p.
4. Muhammad H. Rashid. Power Electronics Handbook. Academic Press. 2001. – 895 p.
5. Mohan Ned, Undeland Tore M., Robbins William P. Power Electronics: Converters, Applications and Designe. 3rd Edition – John Wiley & Sons, 2002. – 802 p.
6. Perret R. Power Electronics Semiconductor Devices. Wiley & Sons, – 2009. – 802 p.

9 ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

1. Вікіпедія:
   Інвертор:
   https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%BE%D1%80
   Перетворювач частоти:
   https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8
   Випрямлення змінного струму:
   https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D0%BF%D1%80%D1%8F%D0%BC%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%B7%D0%BC%D1%96%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BC%D1%83
2. Література на сайті кафедри електропривода:
   http://elprivod.nmu.org.ua/ua/books/converters.php

Навчальне видання

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«Силові перетворювачі автоматизованих електроприводів» для бакалаврів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Розробник: Микола Миколайович Казачковський

В редакції автора

Підготовлено до виходу в світ
у Національному технічному університеті
«Дніпровська політехніка».
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19