



ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	14 «Електроінженерія»
Спеціальність	141 « Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма	Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси
Статус дисципліни	Обов'язковий
Форма навчання	Очна(денна)
Рік підготовки, семестр	3 курс, осінній і весняний семестр
Обсяг дисципліни	210 годин / 7 кредитів ECTS
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ViewSchedule.aspx?v=34696b98-e09a-4156-9403-6ca63703b64d
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: Професор, д.т.н. Сільвестров Антон Миколайович, 0955547571 Практичні: Професор, д.т.н. Сільвестров Антон Миколайович, 0955547571 Лабораторні: Професор, д.т.н. Сільвестров Антон Миколайович, 0955547571
Розміщення курсу	https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Програму навчальної базової дисципліни «Теорія автоматичного керування» складено відповідно до освітньої програми «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Метою навчальної дисципліни є формування і конкретизація у студентів здатностей використовувати теоретичні знання і практичний досвід, потрібні для правильної експлуатації та проектування сучасних систем автоматичного керування.

Предмет навчальної дисципліни – автоматичні системи управління різними класами електротехнічних об'єктів

Програмні результати навчання:

Компетенції: (ЗК1-8) Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово. Здатність спілкуватися іноземною мовою. Здатність здійснення безпечної діяльності, прагнення до збереження навколишнього середовища. Здатність використання інформаційних і комунікаційних технологій. Здатність працювати у команді. Здатність генерувати нові ідеї (креативність). Здатність приймати обґрунтовані рішення. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. ФК7 Здатність використовувати інформаційні і комунікаційні технології та спеціалізоване програмне забезпечення при навчанні та у професійній діяльності.

Знання: ЗН 18 Загальних методів розробки сучасних систем автоматичного керування електротехнічними процесами і апаратами.

Уміння: УМ 4 Пояснювати свої рішення і підґрунтя їх прийняття фахівцям і нефахівцям в ясній і однозначній формі. УМ 5 Володіти навичками самостійного навчання та автономної роботи для підвищення професійної кваліфікації та вирішення проблем в новому або незнайомому середовищі. УМ 7 Володіти логікою та методологією наукового пізнання, що ґрунтується на розумінні сучасного стану і методології предметної області. УМ 13 Розуміти особливості робочих процесів у гідравлічних, пневматичних, електричних та електронних системах, що застосовуються в електроенергетиці.

Досвід: аудиторної та самостійної роботи при засвоєнні нового матеріалу; використання набутих знань при розв'язанні задач типового характеру.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

1. Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти: теоретичною базою дисциплін «Вища математика», «Фізика», «Теоретична механіка». Дисципліна «Електротехніка і електроніка », використовуючи відомі закони фізики, подає теорію електричних кіл, машин і трансформаторів.

2. Дисципліну структурно розподілено на **6 розділів**, а саме:

1. Основні поняття теорії автоматичного керування
2. Математичний опис САК
3. Поняття стійкості САК
4. Методи дослідження якості САК
5. Методи синтезу САК
6. Нелінійні САК

3. Навчальні матеріали та ресурси

Основна література:

1. А.А. Ерофеев. Теория автоматического управления. «Политехника» ЛО, 1998, 295с.
2. Г.Ф. Зайцев. Теория автоматического управления и регулирования. Киев, «Вища школа», 1988, 360с.
3. Задачник по теории автоматического управления под ред. А.С. Шаталова. М., «Энергия», 1971, 200 с.
4. В.А.Бесекерский, Е.П. Попов. Теория систем автоматического регулирования. М., «Наука», 1972.
5. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления под ред. В.А.Бесекерского. М., «Наука», 1978.
6. Н.И. Подлесный, В.Г. Рубанов. Элементы систем автоматического управления и контроля. К., «Вища школа», 1982.
7. А.А. Вавилов. Частотные методы расчета нелинейных систем. Л., «Энергия», 1970, 324 с.
8. Краснопрошина А.А., Репникова Н.Б., Ильченко А.А. Современный анализ систем управления с применением Matlab/Simulink. Учебное пособие. Киев: «Корнийчук», 1999.
9. Бесекерский В.А., Ефимов Н. Б. Микропроцессорные САУ. Л.: Машинстроение, 1988, 365с.
10. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. К.: Вища школа, 1989, 430 с.
11. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления/М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.
12. М.Я. Островерхов, А.М. Сільвестров, Г.І. Кривобока. Методи ідентифікації об'єктів керування./К.: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2020. – 349 с.

13. Сільвестров А.М. Конспект лекцій з теорії автоматичного керування/

<https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705>

Додаткова література:

1. Е.К. Попов. Проектирование следящих систем. М., «Машиностроение», 1979.
2. А.В. Башарин, Примеры расчета автоматизированного электропривода на ЭВМ. Л., «Энергоатомиздат», 1990.
3. Я.З. Цыпкин. Основы теории автоматических систем. М., «Наука», 1977.
4. Ту Ю. Современная теория управления. М., «Машиностроение», 1971.
5. Г.Ф.Зайцев, В.К. Стеклов. Комбинированные следящие системы. К., «Техника», 1978.
6. Д.Х. Исаев, А.А. Краснопрошина, В.Б. Яковлев. Теория автоматического управления. К., «Вища школа», 1992.
7. Б.Н. Наумов. Теория нелинейных автоматических систем. М., «Наука», 1972, 544 с.

Навчальний контент

3. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Лекційні заняття

Кредитний модуль 1

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	Лекція 1. Класифікація САК за різними принципами Основні поняття теорії .Системи стабілізації, програмного управління та слідкуючи системи. Статичні та астатичні системи. Неперервні та дискретні системи. Лінійні та нелінійні системи. Стаціонарні та нестаціонарні, оптимальні та адаптивні, одновимірні та багатовимірні системи. Приклади систем. Недоліки та переваги. Л. (3- стор. 9-24; 5 стор. 14-22; 6-стор. 3-45). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 1 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання на СРС. Приклад системи стабілізації температури.
2	Лекція 2. Принципи регулювання САК Регулювання по збуренню та відхиленню. Загальна схема принципів регулювання, недоліки та переваги. Комбіноване регулювання. Л. (3- стор. 9-24; 5 стор. 14-22; 6-стор. 195-208). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 2 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Схема автоматичного регулювання напругою генератора постійного струму з реалізацією різних принципів регулювання. Математичне виведення значення коефіцієнта статизма.
3	Лекція 3. Динамічна ланка як елемент САК Статика. Лінеаризація. Приведення до стандартного і безрозмірного вигляду. Л. (3- стор.49-52; 5 стор. 25-27; 6-стор. 176-195). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 3 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705

	Завдання для СРС. Вивід рівняння генератора постійного струму, як об'єкта регулювання
4	Лекція 4. Побудова рівняння динаміки САК. Принципова і функціональна схеми. Опис елементів. Диференціальне рівняння системи. Л. (3- стор. 58-61; 5 стор. 35-44; 6-стор. 194-228). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 4 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Приклади побудови часових характеристик для генератора постійного струму.
5	Лекція 5. Передаточна функція лінійної динамічної системи. Пряме і зворотне перетворення Лапласа різних функцій. теорема Лапласа. Л. (3- стор. 65-69; 5 стор. 45-50; 6-стор. 230-258). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 5 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Приклади використання перетворень Лапласа.
6	Лекція 6. Частотні характеристики лінійних систем. Визначення логарифмічних частотних характеристик. Основні поняття, логарифмічний масштаб. Приклад побудови логарифмічних частотних характеристик для аперіодичної ланки. Л. (3- стор. 65-69; 5 стор. 45-50; 6-стор. 306-308). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 6 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Побудова логарифмічних характеристик типових ланок.
7	Лекція 7. Часові характеристики. Перехідна $h(t)$ та імпульсна перехідна $w(t)$ функції. Інтеграл Дюамеля. Л. (3; 5; 6-стор. 232-246). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 7 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Розрахувати $h(t)$ і $w(t)$ для типових ланок САК.
8	Лекція 8. Типові ланки САК. Безінерційна, інерційна I порядку та їх характеристики: $h(t)$, $w(t)$, $W(p)$, $L(\omega)$, $\varphi(\omega)$. Л. (3- стор. 69-87; 5 стор. 53-61); 6. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 8 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705

	<i>Завдання для СРС. Немінімально-фазові ланки та їх характеристики.</i>
9	Лекція 9. Ідеальні інтегруюча та диференціююча ланки. <i>Реальна і диференціююча їх реалізація..</i> <i>Л. (3- стор. 69-87; 5 стор. 53-61); 5; 6.</i> Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 9 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 <i>Завдання для СРС. Нестійка аперіодична ланка I порядку.</i>
10	Лекція 10. Динамічні ланки другого порядку Диференційне рівняння, передавальна функція, часові та частотні характеристики ланок: аперіодичної другого порядку. <i>Л. (5 стор. 66-72; 6-стор. 246-258).</i> Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 10 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 <i>Завдання для СРС. Приклади елементів САУ, які описуються ланками другого порядку: двигун постійного струму.</i>
11	Лекція 11. Коливальна ланка II порядку та її характеристики <i>Характеристики коливальної ланки II порядку: $h(t)$, $w(t)$, $W(p)$, $L(\omega)$, $\varphi(\omega)$, $W(j\omega)$</i> <i>Л. (5 стор. 68-72); 6.</i> Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 11 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 <i>Завдання для СРС. Ланка II порядку з астатизмом I порядку..</i>
12	Лекція 12. Структурні схеми та їх перетворення. <i>Види перетворювань, такі як перенос суматора через суматор, перенос вузла через суматор і т. і. Математичний вираз для еквівалентної передавальної функції. Передавальні функції розімкнутої та замкнутої систем, по збуренню та помилки системи. Передавальна функція послідовного та паралельного з'єднання. Передавальна функція типу зворотнього зв'язку. Формула Мейсона.</i> <i>Л. (3- стор. 104-107; 5 стор. 81-86); 6.</i> Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 12 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 <i>Завдання для СРС. Правила перетворення структурних схем.</i>
13	Лекція 13. Дослідження впливу зворотного зв'язку на динамічні властивості системи. <i>Безінерційна, інерційна ланки I порядку, ланки з різними зворотними зв'язками.</i> <i>Л. (6)</i> Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 13

	https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Підібрати зворотний зв'язок для нестійкої ланки II порядку.
14	Лекція 14. Вплив зворотного зв'язку на ідеальну інтегруючу і диференціюючу ланки та ланку II порядку. Інтегральний, диференціальний і жорсткий зворотні зв'язки. Л. (3- стор. 168-240; 5 стор. 127-160) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 14 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Визначення точності САК для статичної та астатичних систем першого та другого порядків.
15	Лекція 15. Частотні характеристики послідовно з'єднаних ланок САК. АФЧХ, ЛЧХ. АЧХ. ФЧХ. Л. (3- стор. 66-70; 5 стор. 46-50, 6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 15 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Побудувати всі частотні характеристики для розімкненої САК керування ДПС.
16	Лекція 16. Поняття стійкості САК. Загальні положення. Приклади. Асимптотична стійкість аперіодична і коливальна. Межа стійкості. Теорема Ляпунова. Л. (3, стор. 133-151; 5-стор.94-119, 6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 16 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Вплив структури і параметрів ланок на стійкість САК.
17	Лекція 17. Спрошені показники стійкості САК. Алгебраїчний критерій Рауса та приклади його використання. Л. (3 (стор. 133-151); 5-(стор.94-119), 6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 17 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Завдання для СРС. Дослідити за критерієм Рауса стійкість САК ДПС.
18	Лекція 18. Алгебраїчний критерій Гурвиця. Умова стійкості САК I, II, III порядків. Граничний коефіцієнт підсилення. Вплив співвідношення сталих часу. Л. (3 -стор. 135-151; 5 - стор.95-119, 6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 18 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705

	<i>Завдання для СРС. Дослідити за критерієм Гурвиця структурно не стійку САК.</i>
19	Лекція 19. Частотні критерії стійкості. Критерій Михайлова та 2 його формулювання. Доведення критерію. Наслідки критерію. Л. (3 -стор. 135-151; 5 - стор.95-119, 6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 19 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Розглянути приклади використання критерію Михайлова для САК I, II, III порядків.
20	Лекція 20. Частотний критерій Найквіста. Доведення критерію. Можливі варіанти коренів і нулів $W(j\omega)$. Стійкі і не стійкі розімкнені $W(j\omega)$. Л. (3- стор. 140-152; 5 стор. 98-120; 6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 20 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Вплив структури та параметрів ланок на стійкість САК.
21	Лекція 21. Продовження дослідження критерію Найквіста для не стійких розімкнених систем. Критерій Найквіста. Правила переходу годографа $W_p(j\omega)$. Приклади. Л. (3- стор. 142-152; 5 стор. 98-120; 6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 21 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Визначити стійкість САК ДПС за критеріями Найквіста.
22	Лекція 22. Дослідження стійкості САК для зворотного АФЧХ. Зворотна АФЧХ. Критерій стійкості для стійких і не стійких розімкнених систем. Визначення стійкості по АЧХ і ФЧХ розімкненої частини САК. Визначення стійкості за діаграмою Боде. Л. (3- стор. 145-153; 5 стор. 100-121; 6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 22 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Визначити стійкість САК ДПС за зворотною характеристикою і діаграмою Боде.
23	Лекція 23. Дослідження стійкості САК, які мають ланки з чистим запізненням. За критерієм Гурвиця. Дослідження впливу запізнення на стійкість різних систем. Л. (6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 23

	https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Розглянути вплив різного запізнення в системі цифрової обробки сигналів для САК ДПС..
24	Лекція 24. Визначення областей стійкості САК в просторі її параметрів. Зв'язок комплексної площі з площею параметрів. Метод D–розбиття у функції одного параметра. Л. (6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 24 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Побудувати межові криві D–розбиття для систем I, II, III параметрів.
25	Лекція 25. D–розбиття на комплексній площині в функції двох параметрів. Характеристичний поліном замкненої САК. Перехід до частотних характеристик в функції двох параметрів. Побудова графіків лінії D–розбиття на площині двох параметрів. Л. (6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 25 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Побудувати D–розбиття для $a_3(P) = (\tau_3 P + 1)(\tau_1^2 P^2 + \tau_2 P + 1) + k = 0$.
26	Лекція 26. Гіпербола Вишньградського . Характеристичний поліном САК III порядку (САК ДПС з реактором в колі якоря). Перевід до стандартного виду $D^3 + \alpha D^2 + \beta D + 1 = 0$. Побудова діаграми Вишньградського . Л. (6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 26 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Розрахувати вільну складову перехідного процесу для області діаграми. де всі 3 корені дійсні, різні, від'ємні.
27	Лекція 27. Дослідження впливу коефіцієнтів ПІД-регулятора на стійкість САК привода робота. Математична модель привода. Дослідження стійкості за критерієм Гурвиця для П-, ПІ-, ПІД-регуляторів. Л. (3 – стор. 246-261; 5- стор. 166-180; 6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 27 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Дослідити можливість використання ПІД-регулятора.

Кредитний модуль 2

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
28	Лекція 1. Якість САК в усталеному режимі. Оцінювання похибки $\varepsilon(\infty)$ для різних вхідних впливів. Похибки за положенням, за швидкістю, за прискоренням. Добротність САК. приклади САК з астатизмом I і II порядків. Передаточна функція САК за похибкою. Зв'язок $\varepsilon(\infty)$ і $\varepsilon(t)$. Л. (3- стор. 168-240; 5 стор. 127-160; 6). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 1 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання на СРС. Визначення точності САК для статичної та астатичних систем I і II порядку.
29	Лекція 2. Оцінювання усталеної похибки по збуренню САК. Використання методів еквівалентних перетворень. Оцінювання $\varepsilon(\infty)$ за різних збурень. Методи компенсації збурень. інваріантність по збуренню. Л. (3- стор. 246-261; 5 стор. 166-180; 6). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 2 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Дослідити вплив коефіцієнтів ПІД-регулятора на $\varepsilon(\infty)$.
30	Лекція 3. Оцінювання $\varepsilon(\infty)$ при періодичних вхідних впливах. Метод частотних характеристик, ряди Фур'є. Вплив коефіцієнтів ПІД-регулятора на $\varepsilon(\infty)$. АЧХ і ФЧХ. Л. (3- стор. 168-240; 5 стор. 127-160; 6-стор. 247-258). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 3 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Розрахувати $\varepsilon(\infty)$ для САК ГПС з ПІД-регулятором.
31	Лекція 4. Прямі показники якості перехідних процесів у САК. Реакція САК на функції Хевісайда та Дірака. Показники затухання. коливальності, час перехідного процесу, пере регулювання. Л. (3- стор. 240-246; 5 стор. 160-166; 6-стор. 306-308). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 4 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Залежність прямих показників від параметрів ПІД-регулятора та об'єкта керування.
32	Лекція 5. Непрямі показники якості САК. Діаграма Вишнеградського для САК III порядку. Області різних значень прямих показників в площині двох параметрів. Л. (6). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 5 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Побудувати діаграми Вишнеградського для САК ДПС.

33	Лекція 6. Кореневі критерії якості САК. Ступінь стійкості η та її визначення за годографом Михайлова, за критерієм Гурвиця, Найквіста. Л. (3- стор. 240-246; 5 стор. 165-170; 6). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 6 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Визначити η САК ДПС за різними критеріями.
34	Лекція 7. Розрахунок прямих показників через ступінь стійкості η, показник коливальності μ. Л. 3; 5; 6. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 7 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Числовий приклад розрахунку показників якості перехідних процесів.
35	Лекція 8. Частотні показники якості. Зв'язок дійсної складової АФЧХ і перехідної функції САК та прямих показників. Показник M коливальної САК та його зв'язок з прямими показниками. Л. (3- стор. ; 5-стор. ; 6). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 8 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Для САК ДПС розрахувати показник M та через нього прямі показники σ, η, час $t_{п.п.}$.
36	Лекція 9. Інтегральні критерії якості. Лінійний функціонал, квадратичний, формула Парсеваля. Л. (3- стор. 168-240; 5 стор. 127-160; 6). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 9 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Дослідити вплив сталої часу τ електропривода на інтегральний квадратичний показник.
37	Лекція 10. Методи підвищення якості САК. Розкладання $W_{\varepsilon}(P)$ в ряд Маклорена для дослідження впливу П-, ПІ-, ПІД-регуляторів на $\varepsilon(t)$. Похибки за станом, швидкістю, прискоренням. Л. (3- стор. 246-261; 5 стор. 166-180; 6). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 10 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Дослідити на прикладі ДПС з $W_P = \frac{k_g}{P(\tau_g P + 1)}$ протиріччя мінімізацією $\varepsilon(\infty)$ і стійкістю САК з ПІД-регулятором.

38	Лекція 11. Компенсація збурюючі впливів на основі положень теорії інваріантності. Структурні перетворення на основі теорії графів. Інваріантність по входу, по збуренню. Фізична реалізованість умови. Л. (5 стор. 182-186; 6). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 11 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Побудувати інваріантну до струму якоря ГПС розімкнену САК.
39	Лекція 12. Синтез корегуючі ланок. Оптимальна передаточна функція САК та її трансцендентна модель. Л. (1; 6). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 12 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Апроксимувати оптимальну ЛАЧХ кус очно-лінійною.
40	Лекція 13. Алгоритм побудови бажаної ЛАЧХ. Область низьких, середніх і високих частот. Типова дійсна АЧХ САК. Залежність $\tau_{п.п.}$ і σ від її параметрів κ, κ_a, λ. Л. (1; 6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 13 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Для САК ДПС побудувати дійсну АЧХ і визначити за неї $\tau_{п.п.}$ і σ.
41	Лекція 14. Синтез коригуючі ланок. Алгоритми синтезу послідовної корегуючої ланки, паралельної корегуючої ланки. Л. (1; 6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 14 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Для САК ДПС побудувати ЛАЧХ..
42	Лекція 15. Корекція динаміки коливального об'єкта (консервативна ланка). Характеристики об'єкта, побудова бажаної ЛАЧХ, синтез корегуючої ланки, і запасів по фазі і амплітуді. Налаштовування САК за часовими характеристиками. Л. (3- стор. 352-357; 5 стор. 193-201, 6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 15 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Синтез паралельного коректую чого пристрою.

43	Лекція 16. Синтез корегуючих пристроїв з використанням моделювання в сер MATLAB (Simulink). Об'єкт – електропривод, ЛАЧХ не скоригованої САК. Бажана ЛАЧХ, запас по фазі і амплітуді, визначення ЛАЧХ корегуючої ланки, перевірка в MATLAB – і прямих показників, визначення структури і параметрів RC-корегуючого фільтра. Л. (1; 2, стор. 193-206; 6) Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 16 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706
44	Лекція 17. Експериментальні дослідження об'єктів керування. Методи ідентифікації статичних режимів систем автоматичного керування. Л. (6-стор. 48-96). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 17 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Побудова регресійної залежності вихідної координати об'єкта від збурюючого фактору.
45	Лекція 18. Методи ідентифікації математичних моделей динаміки систем автоматичного керування. Градiєнтні методи ідентифікації. Метод трьох моделей. Ноніусні алгоритми ідентифікації і управління нестационарним об'єктом. Л. (6-стор. 230-280). Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 18 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Вивчити, розібратися, освоїти інтегрований метод найменших квадратів.

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
	Кредитний модуль 1
1	Створити у вигляді таблиці види класифікацій САК <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=1705
2	Записати рівняння динаміки САК ДПС і САК ГПС <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=1705
3	Побудувати частотні характеристики ДПС і ГПС <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=1705
4	Побудувати частотні характеристики САК ДПС і ГПС <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=1705
5	Дослідити стійкість САК ДПС і ГПС за спрощеними показниками <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=1705
6	Дослідити стійкість САК ДПС і ГПС за частотними критеріями <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=1705
7	Дослідити стійкість САК ДПС і ГПС за АФЧХ розімкненої частини. <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=1705
8	Дослідити вплив коефіцієнта підсилення на стійкість САК ДПС <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=1705
9	Дослідити вплив параметрів ПІД-регулятора на стійкість САК ГПС. <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=1705
	Кредитний модуль 2
1	Розрахувати усталені похибки САК ДПС для різних регуляторів і типових вхідних впливів <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=1706
2	Дослідити якість перехідних режимів САК ДПС на основі кореневих критеріїв <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=1706
3	Дослідити якість перехідних процесів в САК ДПС на основі частотних показників <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=1706
4	Побудова інваріантної до входу і до збурення САК ГПС <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipro.kpi.ua/course/view.php?id=1706
5	В САКз П-регулятором синтезувати послідовну корегуючу ланку для заданих показників перехідного процесу

	<i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706
6	<i>В САКз П-регулятором синтезувати паралельну корегуючу ланку для заданих показників перехідного процесу</i> <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706
7	<i>Вибрати параметри ПІД-регулятора для ДПС за часовими характеристиками</i> <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706
8	<i>Побудувати перетворення синусоїдного вхідного сигналу у вихідний для різних типів не лінійності.</i> <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706
9	<i>Побудувати фазові портрети для аперіодичних і коливальних стійких і не стійких процесів</i> <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706
10	<i>Дослідити релейну САК на фазовій площині методом ізоклін.</i> <i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування»</i> https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706

5. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
	<i>Кредитний модуль 1</i>	
1	<i>Приклад системи стабілізації напруги генератора.</i>	4
2	<i>Схема автоматичного регулювання швидкості двигуна постійного струму з реалізацією різних принципів регулювання. Математичне виведення значення коефіцієнта статизма.</i>	4
3	<i>Вивід рівняння двигуна постійного струму, як об'єкта регулювання.</i>	4
4	<i>Приклади побудови часових характеристик для двигуна постійного струму.</i>	4
5	<i>Побудова логарифмічних характеристик для статичних та астатичних систем, які описуються диференціальними рівняннями різного порядку.</i>	6
6	<i>Немінімально-фазові ланки</i>	4
7	<i>Приклади елементів САУ, які описуються ланками другого порядку.</i>	5
8	<i>Правила перетворення структурних схем та лінійних систем.</i>	6
9	<i>Вплив структури та параметрів ланок на стійкість САУ.</i>	4
10	<i>Визначення точності САУ для статичної та астатичних систем першого та другого порядків.</i>	4
11	<i>ПІД-регулювання напругою ГПС</i>	6

12	<i>Схеми інваріантних систем.</i>	4
13	<i>Синтез паралельного коректуючого пристрою.</i>	4
	<i>Всього:</i>	48
	<i>Кредитний модуль 2</i>	
1	<i>Розрахунок $\varepsilon(\infty)$ для різних типових вхідних впливів і різних систем</i>	6
2	<i>Розрахунок $\varepsilon(\infty)$ для САК по збуренню</i>	4
3	<i>Прямі показники якості перехідних процесів та їх розрахунок</i>	4
4	<i>Алгебраїчні показники якості перехідних процесів. Діаграма Вишнеградського.</i>	4
5	<i>Визначення показників якості перехідних процесів з годографа Михайлова, критерій Гурвиця, Найквіста</i>	4
6	<i>Визначення прямих показників за частотними показниками</i>	6
7	<i>Синтез корегуючих ланок</i>	4
8	<i>Структурні перетворення нелінійних елементів САК</i>	2
9	<i>Побудова релейних САК електротехнічними об'єктами.</i>	2
	<i>Всього:</i>	36

Політика та контроль

6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- *правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях. Відпрацювання лабораторних робіт з дисципліни є обов'язковою умовою допуску до заліку;*
- *правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Сікорський здійснюється за умови вказівки викладача;*
- *правила захисту лабораторних робіт: допускається як індивідуальний захист лабораторних робіт, так і колективний (у складі бригади, склад якої визначають на першому лабораторному занятті). В обох випадках оцінюють індивідуальні відповіді кожного студента.*
- *правила призначення заохочувальних та штрафних балів: заохочувальні та штрафні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали.*

Заохочувальні бали нараховують за участь у факультетських та інститутських олімпіадах з дисципліни «Електричні машини», участь у факультетських та інститутських наукових конференціях. Штрафні бали нараховують за несвоєчасний захист лабораторних робіт.

- політика дедлайнів та перескладань: несвоєчасний захист лабораторних робіт передбачають нарахування штрафних балів. Перескладання захисту лабораторних робіт не передбачено;
- політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Електротехніка і електроніка»;
- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соц.мережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

7. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: експрес-опитування, розв'язання задач

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: іспит

Умови допуску до семестрового контролю: зарахування усіх практичних робіт, семестровий рейтинг більше 30 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Загальна рейтингова оцінка студента після завершення семестру складається з балів, отриманих за:

- відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях;
- розв'язання задач на практичних заняттях.

Експрес-опитування	Розв'язання задач	Практ. роботи	Rc	Ri	R
5	10	45	60	40	100

Відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях

Ваговий бал – 0,3.

Максимальна кількість балів на всіх лекціях –
0,3 бали * 17 = 5 бали.

Критерії оцінювання

- правильні відповіді на окремі питання з місця – 0,3;

Розв'язання задач на практичних заняттях

Ваговий бал – 2.

Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях –

2 бали * 5 = 10 балів.

Критерії оцінювання

самостійне розв'язання задачі, вільне володіння темою заняття – 1,5...2;

розв'язання задачі за допомогою викладача, володіння окремими розділами теми заняття – 1 ...1,5;

суттєві помилки але повне розуміння теми і матеріалу – 0,5 ... 1 балів;

неповна або неточна відповідь – 0...0,5 балів.

Форма семестрового контролю – іспит

Екзаменаційний квиток складається з трьох теоретичних запитань

Критерії оцінювання заліку

Рейтинг $R_c \geq 0,6 \cdot R$, тобто 60 балів – зараховується автоматично.

Рейтинг R_c в межах $(0,4 - 0,59) \cdot R$, тобто 40 – 59 балів – студенти складають іспит.

Максимальний рейтинг іспиту $R_i = 40$ балів.

Рейтинг іспиту $R_i = 33 - 40$ балів – студент дав вичерпні відповіді на всі питання (при необхідності – і на додаткові), дає чіткі визначення всіх понять і величин, відповіді логічні і послідовні.

Рейтинг іспиту $R_i = 25 - 32$ балів – відповідаючи на питання, студент припускається окремих помилок, але може їх виправити за допомогою викладача; знає визначення основних понять і величин дисципліни, в цілому розуміє фізичну суть електромагнітних процесів в об'єктах, які вивчав.

Рейтинг іспиту $R_i = 16 - 24$ балів – студент частково відповідає на екзаменаційні питання, показує знання, але недостатньо розуміє фізичну суть електромагнітних процесів перетворення енергії. Відповіді непослідовні і нечіткі.

Рейтинг іспиту $R_i \leq 15$ балів – у відповіді студент припускається суттєвих помилок, проявляє нерозуміння фізичної суті електромагнітних процесів, не може виправити помилки за допомогою викладача. Відповіді некоректні, а в деяких випадках не відповідають суті поставленого питання.

Перелік екзаменаційних питань з кредитного модуля «Теорія автоматичного керування»

1. Основні поняття теорії .Системи стабілізації, програмного управління та слідкуючи системи. Статичні та астатичні системи. Неперервні та дискретні системи. Лінійні та нелінійні системи. Стаціонарні та нестаціонарні, оптимальні та адаптивні, одновимірні та багатовимірні системи. Приклади систем. Недоліки та переваги.
2. Регулювання по збуренню та відхиленню. Загальна схема принципів регулювання, недоліки та переваги. Комбіноване регулювання.
3. Статика. Лінеаризація. Приведення до стандартного і безрозмірного вигляду.
4. Принципова і функціональна схеми. Опис елементів. Диференціальне рівняння системи.
5. Пряме і зворотнє перетворення Лапласа різних функцій. теорема Лапласа.
6. Визначення логарифмічних частотних характеристик. Основні поняття, логарифмічний масштаб. Приклад побудови логарифмічних частотних характеристик для аперіодичної ланки.
7. Перехідна $h(t)$ та імпульсна перехідна $w(t)$ функції. Інтеграл Дюамеля.
8. Безінерційна, інерційна I порядку та їх характеристики: $h(t)$, $w(t)$, $W(p)$, $L(\omega)$, $\varphi(\omega)$.
9. Реальна і диференціююча їх реалізація..
10. Диференціальне рівняння, передавальна функція, часові та частотні характеристики, логарифмічні характеристики ланок: аперіодичної другого порядку.
11. Характеристики коливальної ланки II порядку: $h(t)$, $w(t)$, $W(p)$, $L(\omega)$, $\varphi(\omega)$, $W(j\omega)$
12. Види перетворювань, такі як перенос суматора через суматор, перенос вузла через суматор і т. і. Математичний вираз для еквівалентної передавальної функції. Передавальні функції розімкнутої та замкнутої систем, по збуренню та помилки системи. Передавальна функція послідовного та паралельного з'єднання. Передавальна функція типу зворотнього зв'язку. Формула Мейсона.
13. Безінерційна, інерційна ланки I порядку, ланки з різними зворотними зв'язками.
14. Інтегральний, диференціальний і жорсткий зворотні зв'язки.
15. АФЧХ, ЛЧХ. АЧХ. ФЧХ.
16. Загальні положення. Приклади. Асимптотична стійкість аперіодична і коливальна. Межа стійкості. Теореми Ляпунова.
17. Алгебраїчний критерій Рауса та приклади його використання.
18. Умова стійкості САК I, II, III порядків. Граничний коефіцієнт підсилення. Вплив співвідношення сталих часу.
19. Критерій Михайлова та 2 його формулювання. Доведення критерію. Наслідки критерію.
20. Доведення критерію. Можливі варіанти коренів і нулів $W(j\omega)$. Стійкі і не стійкі розімкнені $W(j\omega)$.
21. Критерій Найквіста. Правила переходу годографа $W_p(j\omega)$. Приклади.
22. Зворотна АФЧХ. Критерій стійкості для стійких і не стійких розімкнених систем. Визначення стійкості по АЧХ і ФЧХ розімкненої частини САК. Визначення стійкості за діаграмою Бode.
23. За критерієм Гурвиця. Дослідження впливу запізнення на стійкість різних систем.
24. Зв'язок комплексної площі з площею параметрів. Метод D–розбиття у функції одного параметра.
25. Характеристичний поліном замкнутої САК. Перехід до частотних характеристик в функції двох параметрів. Побудова графіків лінії D–розбиття на площині двох параметрів.
26. Характеристичний поліном САК III порядку (САК ДПС з реактором в колі якоря). Перевід до стандартного виду $D^3 + \alpha D^2 + \beta D + 1 = 0$. Побудова діаграми Вишнєградського .
27. Математична модель привода. Дослідження стійкості за критерієм Гурвиця для П-, ПІ-, ПІД-регуляторів.

28. Добротність САК. приклади САК з астатизмом I і II порядків. Передаточна функція САК за похибкою. Зв'язок $\varepsilon(\infty)$ і $\varepsilon(t)$.
29. Використання методів еквівалентних перетворень. Оцінювання $\varepsilon(\infty)$ за різних збурень. Методи компенсації збурень. інваріантність по збуренню.
30. Метод частотних характеристик, ряди Фур'є. Вплив коефіцієнтів ПІД-регулятора на $\varepsilon(\infty)$. АЧХ і ФЧХ.
31. Реакція САК на функції Хевісайда та Дірака. Показники затухання. коливальності, час перехідного процесу, пере регулювання.
32. Діаграма Вишнеградського для САК III порядку. Області різних значень прямих показників в площині двох параметрів.
33. Ступінь стійкості η та її визначення за годографом Михайлова, за критерієм Гурвиця, Найквіста.
34. Розрахунок прямих показників через ступінь стійкості η , показник коливальності μ .
35. Показник M коливальної САК та його зв'язок з прямими показниками.
36. Лінійний функціонал, квадратичний, формула Парсеваля.
37. Розкладання $W_\varepsilon(P)$ в ряд Маклоренса для дослідження впливу П-, ПІ-, ПІД-регуляторів на $\varepsilon(t)$. Похибки за станом, швидкістю, прискоренням.
38. Структурні перетворення на основі теорії графів. Інваріантність по входу, по збуренню. Фізична реалізованість умови.
39. Оптимальна передаточна функція САК та її трансцендентна модель.
40. Область низьких, середніх і високих частот. Типова дійсна АЧХ САК. Залежність $\tau_{п.п.}$ і σ від її параметрів $\kappa, \kappa_a, \lambda$.
41. Алгоритми синтезу послідовної корегуючої ланки, паралельної корегуючої ланки.
42. Характеристики об'єкта, побудова бажаної ЛАЧХ, синтез корегуючої ланки, перевірка запасів по фазі і амплітуді. Налаштовування САК за часовими характеристиками.
43. Об'єкт – електропривод, ЛАЧХ не скоригованої САК. Бажана ЛАЧХ, запас по фазі і амплітуді, визначення ЛАЧХ корегуючої ланки, перевірка в MATLAB – і прямих показників, визначення структури і параметрів RC-корегуючого фільтра.
44. Методи ідентифікації статичних режимів систем автоматичного керування.
45. Градієнтні методи ідентифікації. Метод трьох моделей. Ноніусні алгоритми ідентифікації і управління нестационарним об'єктом.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено професором кафедри теоретичної електротехніки ФЕА, д.т.н. Сільвестровим А. М.
Ухвалено кафедрою теоретичної електротехніки ФЕА (протокол № 11 від 29.06.2021 р.)**

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № __ від ____)