



СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 «Електрична інженерія»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня програма	<i>Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси</i>
Статус дисципліни	<i>Обов'язкова (нормативна)</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>255 годин / 8,5 кредитів ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Іспит</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: Професор, д.т.н. Сільвестров Антон Миколайович, 0955547571 Практичні: Професор, д.т.н. Сільвестров Антон Миколайович, 0955547571</i>
Розміщення курсу	<i>https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Програму навчальної базової дисципліни «Системи автоматичного керування технологічними комплексами» 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 у студентів наступних здатностей: K12. Здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки; K16. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії; K20. Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці; K24. Здатність вирішувати задачі задоволення потреб виробництва в електроенергії різних видів та параметрів, а також для ефективного керування її розподіленням та підвищенням енергоефективності за допомогою пристроїв силової електроніки та перетворювальної техніки.*

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

Програмні результати навчання:

ПРО1. Знати і розуміти принципи роботи електричних систем та мереж, силового обладнання електричних станцій та підстанцій, пристроїв захисного заземлення та грозозахисту та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності; ПРО5. Знати

основи теорії електромагнітного поля, методи розрахунку електричних кіл та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності; ПР06. Застосовувати прикладне програмне забезпечення, мікроконтролери та мікропроцесорну техніку для вирішення практичних проблем у професійній діяльності; ПР23. Знати і розуміти фізичну основу та архітектуру мікропроцесорів, методологію проектування пристроїв на основі мікропроцесорів; ПР24. Знати і розуміти принципи роботи силової перетворювальної техніки для динамічного та статичного трансформування електричної енергії в електротехнологічних установках.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти: теоретичною базою дисциплін «Вища математика», «Загальна фізика», «Теоретична механіка».

Дисципліну структурно розділено 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. Сільвестров А.М., Островерхов М.Я., Шефер О.В., Ладік Н.А., Зіменков Д.К. Системи автоматичного керування технологічними комплексами/К.; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 460 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47686>
2. Островерхов М.Я., Сільвестров А.М., Зеленський К.Х. Методи дослідження електротехнічних систем і комплексів/Л.: ТАЛКОМ, 2019. – 300 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47969>
3. Павленко Т.П. Автоматизований електропривод загально-промислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / Т. П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 132 с.
4. Марченко, А. А. Теорія автоматичного керування. Дослідження системи автоматичного регулювання. Курсова робота [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Системи управління виробництвом і розподілом електроенергії» / А. А. Марченко, В. С. Гулий, Д. В. Настенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,23 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 31 с.
5. Бахрушин В.Є. Теорія керування : навч. посіб. / В.Є. Бахрушин, Т.Ю. Огаренко. – Запоріжжя : КПУ, 2014. – 224 с.
6. М.Я. Островерхов, А.М. Сільвестров, Г.І. Кривобока. Методи ідентифікації об'єктів керування./К.: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2020. – 349 с.
7. Сільвестров А.М. Конспект лекцій з теорії автоматичного керування/ <https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705>

Додаткова література:

1. Чисельний розрахунок нелінійних електричних кіл: навч. посібник/ О. О. Ситник, К. М. Ключка, В. В. Палагін, О. С. Гавриш, І. Б. Семко; Мво освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2019. – 140 с.

2. Моделювання об'єктів та систем керування засобами MatLab: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / М. В. Коржик. – Київ : НТУУ “КПІ”, 2016. – 174 с.

3. Сучасна теорія управління. Частина 2. Прикладні аспекти сучасної теорії управління [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізацій «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» / Ю. М. Ковриго, О. В. Степанець, Т. Г. Баган, О. С. Бунке ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,98 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 155 с.

Навчальний контент

Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	<p>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. Література: [1, 3, 5, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 1 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання на СРС. Приклад системи стабілізації температури.</p>
2	<p>Лекція 2. Принципи регулювання САК Регулювання по збуренню та відхиленню. Загальна схема принципів регулювання, недоліки та переваги. Комбіноване регулювання. Література: [1, 3, 5, 6]. 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 з реалізацією різних принципів регулювання. Математичне виведення значення коефіцієнта статизма.</p>
3	<p>Лекція 3. Динамічна ланка як елемент САК Статика. Лінеаризація. Приведення до стандартного і безрозмірного вигляду. Література: [3, 5, 6]. 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</p>
4	<p>Лекція 4. Побудова рівняння динаміки САК. Принципова і функціональна схеми. Опис елементів. Диференціальне рівняння системи. Література: [2, 3, 5, 6]. 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.</p>

5	<p>Лекція 5. Передаточна функція лінійної динамічної системи. Пряме і зворотне перетворення Лапласа різних функцій. теорема Лапласа. Література: [3, 5, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 5 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Приклади використання перетворень Лапласа.</p>
6	<p>Лекція 6. Частотні характеристики лінійних систем. Визначення логарифмічних частотних характеристик. Основні поняття, логарифмічний масштаб. Приклад побудови логарифмічних частотних характеристик для аперіодичної ланки. Література: [3, 5, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 6 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Побудова логарифмічних характеристик типових ланок.</p>
7	<p>Лекція 7. Часові характеристики. Перехідна $h(t)$ та імпульсна перехідна $w(t)$ функції. Інтеграл Дюамеля. Література: [3, 5, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 7 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Розрахувати $h(t)$ і $w(t)$ для типових ланок САК.</p>
8	<p>Лекція 8. Типові ланки САК. Безінерційна, інерційна I порядку та їх характеристики: $h(t)$, $w(t)$, $W(p)$, $L(\omega)$, $\phi(\omega)$. Література: [3, 4-6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 8 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Немінімально-фазові ланки та їх характеристики.</p>
9	<p>Лекція 9. Ідеальні інтегруюча та диференціююча ланки. Реальна і диференціююча їх реалізація.. Література: [3, 5, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 9 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Нестійка аперіодична ланка I порядку.</p>
10	<p>Лекція 10. Динамічні ланки другого порядку Диференційне рівняння, передавальна функція, часові та частотні характеристики, логарифмічні характеристики ланок: аперіодичної другого порядку. Література: [5, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 10 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Приклади елементів САУ, які описуються ланками другого порядку: двигун постійного струму.</p>
11	<p>Лекція 11. Коливальна ланка II порядку та її характеристики Характеристики коливальної ланки II порядку: $h(t)$, $w(t)$, $W(p)$, $L(\omega)$, $\phi(\omega)$, $W(j\omega)$ Література: [5, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 11 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Ланка II порядку з астатизмом I порядку..</p>
12	<p>Лекція 12. Структурні схеми та їх перетворення. Види перетворювань, такі як перенос суматора через суматор, перенос вузла через суматор. і. Математичний вираз для еквівалентної передавальної функції Передавальні функції</p>

	<p>розімкнутої та замкнутої систем, по збуренню та помилки системи. Передавальна функція послідовного та паралельного з'єднання. Передавальна функція типу зворотнього зв'язку. Формула Мейсона.</p> <p>Література: [2, 3, 5, 6].</p> <p>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 12 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705</p> <p>Завдання для СРС. Правила перетворення структурних схем.</p>
13	<p>Лекція 13. Дослідження впливу зворотного зв'язку на динамічні властивості системи.</p> <p>Безінерційна, інерційна ланки I порядку, ланки з різними зворотними зв'язками.</p> <p>Література: [6].</p> <p>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 13 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705</p> <p>Завдання для СРС. Підібрати зворотний зв'язок для нестійкої ланки II порядку.</p>
14	<p>Лекція 14. Вплив зворотного зв'язку на ідеальну інтегруючу і диференціюючу ланки та ланку II порядку.</p> <p>Інтегральний, диференційний і жорсткий зворотні зв'язки.</p> <p>Література: [3, 5, 6].</p> <p>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 14 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705</p> <p>Завдання для СРС. Визначення точності САК для статичної та астатичних систем першого та другого порядків.</p>
15	<p>Лекція 15. Частотні характеристики послідовно з'єднаних ланок САК. АФЧХ, АЧХ, ФЧХ.</p> <p>Література: [3, 5, 6].</p> <p>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 15 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705</p> <p>Завдання для СРС. Побудувати всі частотні характеристики для розімкненої САК керування ДПС.</p>
16	<p>Лекція 16. Поняття стійкості САК.</p> <p>Загальні положення. Приклади. Асимптотична стійкість аперіодична і коливальна. Межа стійкості. Теорема Ляпунова.</p> <p>Література: [3, 5, 6].</p> <p>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 16 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705</p> <p>Завдання для СРС. Вплив структури і параметрів ланок на стійкість САК.</p>
17	<p>Лекція 17. Спрощені показники стійкості САК.</p> <p>Алгебраїчний критерій Рауса та приклади його використання.</p> <p>Література: [3, 5, 6].</p> <p>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 17 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705</p> <p>Завдання для СРС. Завдання для СРС. Дослідити за критерієм Рауса стійкість САК ДПС.</p>
18	<p>Лекція 18. Алгебраїчний критерій Гурвиця.</p> <p>Умова стійкості САК I, II, III порядків. Гранічний коефіцієнт підсилення. Вплив співвідношення сталих часу.</p> <p>Література: [3, 5, 6].</p> <p>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 18 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705</p> <p>Завдання для СРС. Дослідити за критерієм Гурвиця структурно не стійку САК.</p>

19	<p>Лекція 19. Частотні критерії стійкості. Критерій Михайлова та 2 його формулювання. Доведення критерію. Наслідки критерію. Література: [2-6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 19 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Розглянути приклади використання критерію Михайлова для САК I, II, III порядків.</p>
20	<p>Лекція 20. Частотний критерій Найквіста. Доведення критерію. Можливі варіанти коренів і нулів $W(j\omega)$. Стійкі і не стійкі розімкнені $W(j\omega)$. Література: [1-3, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 20 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Вплив структури та параметрів ланок на стійкість САК.</p>
21	<p>Лекція 21. Продовження дослідження критерію Найквіста для не стійких розімкнених систем. Критерій Найквіста. Правила переходу годографа $W_p(j\omega)$. Приклади. Література: [1-3, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 21 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Визначити стійкість САК ДПС за критеріями Найквіста.</p>
22	<p>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.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Визначити стійкість САК ДПС за зворотною характеристикою і діаграмою Боде.</p>
23	<p>Лекція 23. Дослідження стійкості САК, які мають ланки з чистим запізненням. За критерієм Гурвиця. Дослідження впливу запізнення на стійкість різних систем. Література: [6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 23 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Розглянути вплив різного запізнення в системі цифрової обробки сигналів для САК ДПС.</p>
24	<p>Лекція 24. Визначення областей стійкості САК в просторі її параметрів. Зв'язок комплексної площі з площею параметрів. Метод D-розбиття у функції одного параметра. Література: [6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 24 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Побудувати межові криві D-розбиття для систем I, II, III параметрів.</p>

25	<p>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. Література: [6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 25 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Побудувати D-розбиття для $a_3(P) = (r_3P + 1)(r_1^2P^2 + r_2P + 1) + k = 0$.</p>
26	<p>Лекція 26. Гіпербола Вишнеградського . 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 Вишнеградського . Література: [5, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 26 https://do.ipr.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.</p>
27	<p>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. Література: [3, 5, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 27 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1705 Завдання для СРС. Дослідити можливість використання ПІД-регулятора.</p>
28	<p>Лекція 28. Якість САК в усталеному режимі. Оцінювання похибки $s(\infty)$ 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 $s(\infty)$ і $s(t)$. Література: [3, 5, 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.</p>
29	<p>Лекція 29. Оцінювання усталеної похибки по збуренню САК. Використання методів еквівалентних перетворень. Оцінювання $s(\infty)$ за різних збурень. Методи компенсації збурень. інваріантність по збуренню. Література: [3, 5, 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 $s(\infty)$.</p>
30	<p>Лекція 30. Оцінювання $s(\infty)$ при періодичних вхідних впливах. Метод частотних характеристик, ряди Фур'є. Вплив коефіцієнтів ПІД-регулятора на $s(\infty)$. АЧХ і ФЧХ. Література: [3, 5, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 3 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Розрахувати $s(\infty)$ для САК ГПС з ПІД-регулятором.</p>
31	<p>Лекція 31. Прямі показники якості перехідних процесів у САК.</p>

	<p>Реакція САК на функції Хевісайда та Дірака. Показники затухання, коливальності, час перехідного процесу, пере регулювання.</p> <p>Література: [3, 5, 6].</p> <p>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 4 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706</p> <p>Завдання для СРС. Залежність прямих показників від параметрів ПІД-регулятора та об'єкта керування.</p>
32	<p>Лекція 32. Непрямі показники якості САК.</p> <p>Діаграма Вишнеградського для САК III порядку. Області різних значень прямих показників в площині двох параметрів.</p> <p>Література: [6].</p> <p>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 5 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706</p> <p>Завдання для СРС. Побудувати діаграми Вишнеградського для САК ДПС.</p>
33	<p>Лекція 33. Кореневі критерії якості САК.</p> <p>Ступінь стійкості η та її визначення за годографом Михайлова, за критерієм Гурвиця, Найквіста.</p> <p>Література: [4-6].</p> <p>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 6 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706</p> <p>Завдання для СРС. Визначити η САК ДПС за різними критеріями.</p>
34	<p>Лекція 34. Розрахунок прямих показників через ступінь стійкості η, показник коливальності μ.</p> <p>Література: [3, 5, 6].</p> <p>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 7 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706</p> <p>Завдання для СРС. Числовий приклад розрахунку показників якості перехідних процесів.</p>
35	<p>Лекція 35. Частотні показники якості. Зв'язок дійсної складової АФЧХ і перехідної функції САК та прямих показників.</p> <p>Показник M коливальної САК та його зв'язок з прямими показниками.</p> <p>Література: [3, 5, 6].</p> <p>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 8 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706</p> <p>Завдання для СРС. Для САК ДПС розрахувати показник M та через нього прями показники σ, η, час $t_{п.п.}$.</p>
36	<p>Лекція 36. Інтегральні критерії якості/</p> <p>Лінійний функціонал, квадратичний, формула Парсевалю.</p> <p>Література: [3, 5, 6].</p> <p>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 9 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706</p> <p>Завдання для СРС. Дослідити вплив сталої часу τ електропривода на інтегральний квадратичний показник.</p>
37	<p>Лекція 37. Методи підвищення якості САК.</p> <p>Розкладання $W_s(P)$ в ряд Маклорена для дослідження впливу П-, ПІ-, ПІД-регуляторів на $s(t)$. Похибки за станом, швидкістю, прискоренням.</p> <p>Література: [4-6].</p> <p>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 10 https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706</p>

	<p>Завдання для СРС. Дослідити на прикладі ДПС з $W_p = \frac{K_g}{P(r_g P + 1)}$ протиріччя між міні $s(\infty)$ і стійкістю САК з ПІД-регулятором.</p>
38	<p>Лекція 38. Компенсація збурюючі впливів на основі положень теорії інваріантності. Структурні перетворення на основі теорії графів. Інваріантність по входу, по збуренню. Фізична реалізованість умови. Література: [5, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 11 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Побудувати інваріантну до струму якоря ГПС розімкнену САК.</p>
39	<p>Лекція 39. Синтез корегуючи ланок. Оптимальна передаточна функція САК та її трансцендентна модель. Література: [1, 2, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 12 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Апроксимувати оптимальну ЛАЧХ кус очно-лінійною.</p>
40	<p>Лекція 40. Алгоритм побудови бажаної ЛАЧХ. Область низьких, середніх і високих частот. Типова дійсна АЧХ САК. Залежність $r_{п.п.}$ і σ від її параметрів \square, \square_a, λ. Література: [1, 2, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 13 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Для САК ДПС побудувати дійсну АЧХ і визначити за неї $r_{п.п.}$ і σ.</p>
41	<p>Лекція 41. Синтез коригуючи ланок. Алгоритми синтезу послідовної корегуючої ланки, паралельної корегуючої ланки. Література: [1, 2, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 14 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Для САК ДПС побудувати ЛАЧХ..</p>
42	<p>Лекція 42. Корекція динаміки коливального об'єкта (консервативна ланка). Характеристики об'єкта, побудова бажаної ЛАЧХ, синтез корегуючої ланки, перевірка з фазі і амплітуді. Налагоджування САК за часовими характеристиками. Література: [1-3, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 15 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706 Завдання для СРС. Синтез паралельного коректуючого пристрою.</p>
43	<p>Лекція 43. Синтез корегуючих пристроїв з використанням моделювання Об'єкт – електропривод, ЛАЧХ не скоригованої САК. Бажана ЛАЧХ, запас по фазі і амплітуді, визначення ЛАЧХ корегуючої ланки, визначення структури і параметрів RC-корегуючого фільтра. Література: [1, 2, 6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 16 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706</p>
44	<p>Лекція 44. Експериментальні дослідження об'єктів керування. Методи ідентифікації статичних режимів систем автоматичного керування. Література: [6]. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 17 https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706</p>

	<i>Завдання для СРС. Побудова регресійної залежності вихідної координати об'єкта від збудуючого фактору.</i>
45	<p>Лекція 45. Методи ідентифікації математичних моделей динаміки систем автоматичного керування.</p> <p><i>Градiєнтні методи ідентифікації. Метод трьох моделей. Ноніусні алгоритми ідентифікації і управління нестационарним об'єктом.</i></p> <p><i>Література: [1, 3-4, 6].</i></p> <p><i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» лекція 18</i> https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706</p> <p><i>Завдання для СРС. Вивчити, розібратися, освоїти інтегрований метод найменших квадратів.</i></p>

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Створити у вигляді таблиці види класифікацій САК Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705
2	Записати рівняння динаміки САК ДПС і САК ГПС Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705
3	Побудувати частотні характеристики ДПС і ГПС Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705
4	Побудувати частотні характеристики САК ДПС і ГПС Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705
5	Дослідити стійкість САК ДПС і ГПС за спрощеними показниками Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705
6	Дослідити стійкість САК ДПС і ГПС за частотними критеріями Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705
7	Дослідити стійкість САК ДПС і ГПС за АФЧХ розімкненої частини. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705
8	Дослідити вплив коефіцієнта підсилення на стійкість САК ДПС Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705
9	Дослідити вплив параметрів ПІД-регулятора на стійкість САК ГПС. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1705
10	Розрахувати усталені похибки САК ДПС для різних регуляторів і типових вхідних впливів Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=1706
11	Дослідити якість перехідних режимів САК ДПС на основі кореневих критеріїв

	<i>Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706</i>
12	<i>Дослідити якість перехідних процесів в САК ДПС на основі частотних показників Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706</i>
13	<i>Побудова інваріантної до входу і до збурення САК ГПС Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706</i>
14	<i>В САКз П-регулятором синтезувати послідовну корегуючу ланку для заданих показників перехідного процесу Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706</i>
15	<i>В САКз П-регулятором синтезувати паралельну корегуючу ланку для заданих показників перехідного процесу Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706</i>
16	<i>Вибрати параметри ПІД-регулятора для ДПС за часовими характеристиками Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706</i>
17	<i>Побудувати перетворення синусоїдного вхідного сигналу у вихідний для різних типів не лінійності. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706</i>
18	<i>Побудувати фазові портрети для аперіодичних і коливальних стійких і не стійких процесів Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706</i>
19	<i>Дослідити релейну САК на фазовій площині методом ізоклін. Дистанційний курс «Теорія автоматичного керування» https://do.ipr.kpi.ua/course/view.php?id=1706</i>

Самостійна робота

№ з/п	Назва теми, що виносить на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Приклад системи стабілізації напруги генератора.	4
2	Схема автоматичного регулювання швидкості двигуна постійного струму з реалізацією різних принципів регулювання. Математичне виведення значення коефіцієнта статизма.	4
3	Вивід рівняння двигуна постійного струму, як об'єкта регулювання.	4
4	Приклади побудови часових характеристик для двигуна постійного струму.	4
5	Побудова логарифмічних характеристик для статичних та астатичних систем, які описуються диференційними рівняннями різного порядку.	6

6	Немінімально-фазові ланки	4
7	Приклади елементів САУ, які описуються ланками другого порядку.	5
8	Правила перетворення структурних схем та лінійних систем.	6
9	Вплив структури та параметрів ланок на стійкість САУ.	4
10	Визначення точності САУ для статичної та астатичних систем першого та другого порядків.	4
11	ПІД-регулювання напругою ГПС	6
12	Схеми інваріантних систем.	4
13	Синтез паралельного коректуючого пристрою.	4
14	Розрахунок $s(\infty)$ для різних типових вхідних впливів і різних систем	6
15	Розрахунок $s(\infty)$ для САК по збуренню	4
16	Прямі показники якості перехідних процесів та їх розрахунок	4
17	Алгебраїчні показники якості перехідних процесів. Діаграма Вишнеградського.	4
18	Визначення показників якості перехідних процесів з годографа Михайлова, критерій Гурвиця, Найквіста	4
19	Визначення прямих показників за частотними показниками	6
20	Синтез корегуючи ланок	4
21	Структурні перетворення нелінійних елементів САК	2
22	Побудова релейних САК електротехнічними об'єктами.	2
	Всього:	84

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 (РСО)

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	R _c	R _i	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 –
 $0,3 \text{ бали} * 17 = 5 \text{ бали}$.

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 –
 $2 \text{ бали} * 5 = 10 \text{ балів}$.

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

Рейтинг R_c в межах $(0,4 - 0,59) * R$, 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 «Системи автоматичного керування технологічними комплексами»

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, одномірні та багатомірні 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. Диференційне рівняння системи.
5. Пряме і зворотне 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: $h(t)$, $w(t)$, $W(p)$, $L(\omega)$, $\phi(\omega)$.
9. Реальна і диференціююча їх реалізація..
10. Диференційне рівняння, передавальна функція, часові та частотні характеристики, логарифмічні характеристики ланок: аперіодичної другого порядку.
11. Характеристики коливальної ланки II порядку: $h(t)$, $w(t)$, $W(p)$, $L(\omega)$, $\phi(\omega)$, $W(j\omega)$
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, диференційний і жорсткий зворотні зв'язки.
15. АФЧХ, ЛЧХ. АЧХ. ФЧХ.
16. Загальні положення. Приклади. Асимптотична стійкість аперіодична і коливальна. Межа стійкості. Теорема 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 Боде.
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 Вишнеградського .

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 $s(\infty)$ і $s(t)$.
29. Використання методів еквівалентних перетворень. Оцінювання $s(\infty)$ за різних збурень. Методи компенсації збурень. інваріантність по збуренню.
30. Метод частотних характеристик, ряди Фур'є. Вплив коефіцієнтів ПІД-регулятора на $s(\infty)$. 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 $W_s(P)$ в ряд Маклорена для дослідження впливу П-, ПІ-, ПІД-регуляторів на $s(t)$. 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 $r_{п.п.}$ і σ від її параметрів \square , \square_a , λ .
41. Алгоритми синтезу послідовної корегуючої ланки, паралельної корегуючої ланки.
42. Характеристики об'єкта, побудова бажаної ЛАЧХ, синтез корегуючої ланки, перевірка запасів фази і амплітуді. Налаштування 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 (протокол № 10 від 24.05.20232 р.)

Погоджено Методичною комісією ФЕА (протокол № 10 від 22.06.2023 р.)