



Робастне та адаптивне керування в електротехнічних системах

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	14 «Електрична інженерія»
Спеціальність	141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма	Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність
Статус дисципліни	Обов'язкова (нормативна)
Форма навчання	Очна (денна)
Рік підготовки, семестр	I курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	150 годин / 5 кредитів ECTS (36 годин лекцій, 18 годин практичних занять)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен/МКР,РГР
Розклад занять	1 лекція (2 години) 1 раз на тиждень; 1 практичне заняття (2 години) 1 раз на 2 тижні
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н. Пересада Сергій Михайлович, 0973847413 Практичні: д.т.н. Пересада Сергій Михайлович, 0973847413
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/c/MTY0ODg5NjE1NDgy?cjc=t5vsxms

Програма навчальної дисципліни

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

Силабус навчальної дисципліни «Робастне та адаптивне керування в електротехнічних системах» складено відповідно до освітньої програми «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність» підготовки магістрів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів наступних компетентностей: ЗК06. Здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями, ЗК08. Здатність працювати автономно та в команді, ФК1. Здатність застосовувати отримані теоретичні знання, наукові і технічні методи для вирішення науково-технічних проблем і задач електроенергетики, електротехніки та електромеханіки,

ФК2. Здатність застосовувати існуючі та розробляти нові методи, методика, технології та процедури для вирішення інженерних завдань електроенергетики, електротехніки та електромеханіки,

ФК6. Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для використання в електро-енергетиці, електротехніці та електромеханіці,
 ФК14. Здатність використовувати програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання, автоматизованого проектування, автоматизованого виробництва і автоматизованої розробки або конструювання елементів електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем,

ФК16. Здатність проектувати алгоритми робастного та адаптивного керування для електромеханічних та електротехнічних систем автоматизації та електроприводів,
 ФК18 Здатність досліджувати та аналізувати електромеханічні системи з робастним, адаптивним та інтелектуальним керуванням

Предмет навчальної дисципліни – методи і алгоритми адаптивного керування електротехнічними системами в умовах параметричної невизначеності і часткового вимірювання вектора стану об'єкта керування.

Результати навчання:

ПРН02. Відтворювати процеси в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах при їх комп'ютерному моделюванні, ПРН03. Опанувати нові версії або нове програмне забезпечення, призначене для комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електро-механічних системах. ПРН07. Володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах, ПРН21. Синтезувати алгоритми робастного та адаптивного, векторного керування, слідкуючого та програмного керування рухом.

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

Для вивчення дисципліни «Робастне та адаптивне керування в електротехнічних системах» необхідно мати знання з технічної механіки, електричних машин, теорія автоматичного керування, автоматизованого електроприводу та керування ним, основ мехатроніки, електромеханічні системи типових технологічних та промислових застосувань. Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен мати базовий рівень іноземної мови, оскільки значна частина новітніх методів керування описується в науковій літературі англійською мовою. Компетенції, знання та уміння, одержані в процесі вивчення кредитного модуля є необхідними для подальшого проходження практики на виконання магістерської дисертації.

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розділено на 4 розділи, а саме:

Розділ 1. Методи дослідження та синтезу нелінійних систем

Тема 1.1. Вступ. Загальні відомості. Математичний опис багатовимірних нелінійних систем у просторі стану.

Тема 1.2. Основи сучасної теорії стійкості.

Тема 1.3. Стійкість адаптивних систем.

Тема 1.4. Синтез нелінійних керувань на основі другого методу Ляпунова.

Тема 1.5. Системи із спостережачами стану.

Розділ 2. Спостережачі механічних координат в електромеханічних системах

Тема 2.1. Спостережач невідомого моменту навантаження для двигуна постійного струму.

Тема 2.2. Спостережач кутової швидкості на основі інформації про кутове положення.

Тема 2.3. Спостерігач кутової швидкості повного та зниженого порядку для двигуна постійного струму.

Розділ 3. Спостерігачі стану в електротехнічних та електромеханічних системах.

Тема 3.1. Спостерігачі електромеханічних об'єктів із гармонійним осцилятором.

Тема 3.2. Спостерігач гармонік трифазної мережі.

Тема 3.3. Спостерігачі вектора потокозчеплення ротора зниженого та повного порядку.

Тема 3.4. Адаптивні до змін активного опору статорного та роторного кола спостерігачі вектора потокозчеплення ротора.

Розділ 4. Адаптивне та робастне керування координатами електродвигунів з використанням спостерігачів.

Тема 4.1. Бездавачеве керування електромеханічними координатами на основі натуральних властивостей стійкості.

Тема 4.2. Алгоритм частотного керування швидкістю асинхронних двигунів (АД) з натуральною орієнтацією по вектору потокозчеплення статора.

Тема 4.3. Пряме векторне керування струмово-керуванним АД.

Тема 4.4. Пряме векторне керування моментом АД з максимізацією співвідношення момент-струм.

Тема 4.5. Асинхронний двигун при прямій орієнтації за вектором потокозчеплення ротора.

4. Навчальні матеріали та ресурси

1. Загірняк М.В., Клепиков В.Б., Ковбаса С.М., Михальський В.М., Пересада С.М., Садовой О.В., Шаповал І.А. Енергоефективні електромеханічні системи широкого технологічного призначення. Київ: НАН України, 2018. 310 с.

2. Методи робастного адаптивного керування електромеханічними системами з підвищеними динамічними та енергетичними показниками: звіт про НДР. НТУУ "КПІ". № ДР 0115U000381. Київ, 2017. 506 с.

3. Зайченко Ю.М. Адаптивне керування силовим активним фільтром з селективною компенсацією гармонік: Дис. канд.техн.наук: 05.09.03.

4. Ковбаса С. М. Розвиток теорії бездавачевого векторного керування електромеханічними системами з асинхронними двигунами.: Дис. докт. техн. наук: 05.09.03. Київ. 2020.

5. Теорія електропривода / За ред. М.Г. Поповича.- К.: Вища школа, 1993.-494 с.

6. Пересада, С. М. Непряме векторне керування асинхронними двигунами з властивостями робастності та адаптації до змін активного опору ротора [Електронний ресурс] : монографія / Пересада С. М., Ковбаса С. М., Красношапка Н. Д. ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 4,96 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 174 с.

7. Marino R. and Tomei P. *Nonlinear Control Design: Geometric, Adaptive and Robust*. –New Jersey, Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1995. –390p.

8. Krstic M., Kanellakopoulos I. and Kokotovic P. *Nonlinear and Adaptive Control Design*. – New York: Wiley, 1995. –576p.

9. Khalil H. K. *Nonlinear Systems (3rd edition)*. –New Jersey, Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002. –750p.

10. Marino R., Tomei P., Verrelli C., *Induction Motor Control Design*. Springer 2010. pp. 349.

11. Elis G.. *Observers in Control Systems*. Academic Press. 2002.P.264

12. Luenberger D.C. An Introduction to Observers // Proc. IEEE Transactions on Automatic Control. – 1971. – December – P. 596-602.
13. P.V. Kokotovic, H.K. Khalil and J. O'Reilly. Singular Perturbation Methods in Control: Analysis and Design. Academic Press, N.Y., 1986.
14. Narendra K.S. and Annaswamy A.M. Stable Adaptive Systems. –New Jersey, Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1989. –496p.
15. Verghese G.C. and Sanders S.R. Observers for flux estimation in induction machines // IEEE Trans. on Industrial Electronics. –1988. –Vol. 35. –P. 85-94.
16. Peresada S. and Tonielli A. High-performance robust speed-flux tracking controller for induction motor // Int. Journal of Adaptive Control and Signal Processing. –2000. –Vol. 14. –P. 177-200.
17. R. Ortega, A. Loria, P.J. Nicklasson and H. Sira-Ramires, "Passivity-based Control of Euler-Lagrange Systems", Springer Verlag N.Y., 1998.
18. S. Peresada, A. Tonielli, S. Kovbasa, A. Tilli, "Passivity-based design of the flux observers for induction motors", Технічна електродинаміка. Проблеми сучасної електротехніки, Частина 6, 2000, с.29-34.
19. Толочко О.І. Аналіз та синтез електромеханічних систем зі спостерігачами стану: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. –Донецьк.: Норд-Прес, 2004. – 298 с.

Навчальний контент

5. 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	Тема 1.1. Вступ. Загальні відомості. Математичний опис багатовимірних нелінійних систем у просторі стану.
2	Тема 1.2. Основи сучасної теорії стійкості.
3	Тема 1.3. Стійкість адаптивних систем.
4	Тема 1.4. Синтез нелінійних керувань на основі другого методу Ляпунова.
5	Тема 1.5. Системи із спостерігачами стану.
6	Тема 2.1. Спостерігач невідомого моменту навантаження для двигуна постійного струму.
7	Тема 2.2. Спостерігач кутової швидкості на основі інформації про кутове положення.
8	Тема 2.3. Спостерігач кутової швидкості повного та зниженого порядку для двигуна постійного струму.
9	Тема 3.1. Спостерігачі електромеханічних об'єктів із гармонійним осцилятором.
10	Тема 3.2. Спостерігачі вектора потокозчеплення ротора зниженого та повного порядку.
11	Тема 3.2. Спостерігач гармонік трифазної мережі.
12	Тема 3.4. Адаптивні до змін активного опору статорного та роторного кола спостерігачі вектора потокозчеплення ротора.
13	Тема 4.1. Бездавачеве керування електромеханічними координатами на основі натуральних властивостей стійкості.
14	Тема 4.2. Алгоритм частотного керування швидкістю АД з натуральною орієнтацією по вектору потокозчеплення статора.
15	Тема 4.3. Пряме векторне керування струмово-керованим АД.

16	Тема 4.4. Пряме векторне керування моментом АД з максимізацією співвідношення момент-струм.
17	Тема 4.5. Асинхронний двигун при прямій орієнтації за вектором потокозчеплення ротора.
18	Тема 4.5. Робастність спостерігачів до параметричних збурень.

Практичні заняття

№	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Видача завдань на РГР. Загальні питання з моделювання динамічних систем.
2	Дослідження динамічних режимів спостерігача невідомого моменту навантаження для двигуна постійного струму.
3	Дослідження динамічних режимів спостерігача кутової швидкості на основі інформації про кутове положення.
4	Дослідження динамічних режимів спостерігача кутової швидкості повного та зниженого порядку для двигуна постійного струму.
5	Дослідження динамічних режимів спостерігача для електромеханічних об'єктів із гармонійним осцилятором.
6	Дослідження динамічних режимів спостерігачів вектора потокозчеплення ротора асинхронного двигуна зниженого та повного порядку.
7	Дослідження динамічних режимів адаптивних до змін активного опору статорного та роторного кола спостерігачів вектора потокозчеплення ротора.
8	Дослідження динамічних режимів систем бездавачевого керування електромеханічними координатами на основі натуральних властивостей стійкості.
9	Модульна контрольна робота.

Розрахунково-графічна робота

№	Назва теми РГР
1	Розробка алгоритму і дослідження системи ідентифікації параметрів АД.
2	Розробка алгоритму і дослідження системи ідентифікації параметрів СДПМ.
3	Розробка і дослідження динамічних характеристик спостерігача швидкості АД.
4	Розробка і дослідження динамічних характеристик спостерігача швидкості СДПМ.
5	Розробка і дослідження системи керування швидкістю АД адаптивного до варіацій активного опору і індуктивності статора АД.
6	Розробка і дослідження системи керування швидкістю АД адаптивного до варіацій активного опору і індуктивностей статора СДПМ.
7	Розробка і дослідження бездавачевої системи керування зі спостерігачем швидкості АД...
8	Розробка і дослідження бездавачевої системи керування зі спостерігачем швидкості СДПМ...

Кожному студенту надається технічне завдання на розробку та дослідження адаптивної системи керування.

В процесі виконання РГР студенти повинні:

1. Обрати двигун (АД чи СДПМ), провести розрахунок його номінального режиму та розрахунок параметрів Г-подібної схеми заміщення.
2. Розробити систему векторного керування швидкістю АД/СДПМ (для варіантів 5-8).
3. Синтезувати адаптивну систему керування згідно з варіантом.
4. Розробити структурну схему адаптивної системи керування.
5. Провести дослідження засобами математичного моделювання динамічних та статичних характеристик спроектованих систем.
6. Виконати індивідуальне завдання.
 - a. Провести порівняльне дослідження з окремим використанням контурів ідентифікації параметрів, а також кожного їх поєднання (для варіантів 1-2).
 - b. Провести дослідження з врахуванням нелінійностей динаміки швидкості СДПМ спричинених неідеальностями статора/ротора (для варіантів 3-4).
 - c. Дослідити енергетичні характеристики систем векторного керування (для варіантів 3-8).

6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	47
2	Розрахунково-графічна робота	15
3	Підготовка до МКР	4
4	Підготовка до екзамену	30

6. Контрольні роботи

Метою контрольних робіт є закріплення та перевірка теоретичних знань із кредитного модуля, набуття студентами практичних навичок самостійного вирішення задач.

Проводиться одна модульна контрольна робота (МКР) Основні варіанти завдань.

1. Синтезувати адаптивний спостерігач вектора потокозчеплення асинхронного двигуна (АД), дослідити моделюванням його динамічні властивості для наступних варіантів:

1.а. Усі параметри АД відомі, невідомою є кутова швидкість, яка вважається сталою.

1.б. Усі параметри АД, окрім активного опору статора, відомі, невідомою є кутова швидкість, яка вважається такою, що змінюється повільно.

1.в. Усі параметри АД, окрім активного ротору, відомі, невідомою є кутова швидкість, яка вважається такою, що змінюється повільно.

2. Синтезувати адаптивний спостерігач вектора струму статора синхронного двигуна (СД), дослідити моделюванням його динамічні властивості для наступних варіантів:

2.а. Усі параметри СД, окрім активного опору статора, відомі.

2.б. Усі параметри СД, окрім індуктивності статора, відомі.

2.в. Усі параметри СД, окрім індуктивності статора і активного опору статора, відомі.

Політика та контроль

7. 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.

- 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;

- політика дедлайнів та перескладань: якщо студент не проходив або не з'явився на МКР (без поважної причини), його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання результатів МКР 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 «Електромеханічні системи електричних транспортних засобів»;

- 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.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Поточний контроль: експрес-опитування, МКР, робота на практичних заняттях.

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

Семестровий контроль: екзамен.

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 30 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
95-100	Відмінно
85-94	Дуже добре
75-84	Добре
65-74	Задовільно
60-64	Достатньо
Менше 60	Незадовіль

	но
Менше 30	Не допущено

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

- відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях;
- робота на практичних заняттях;
- виконання модульної контрольної роботи (МКР).

Експрес-опитування	Робота на практичних заняттях	МКР	РГР	Екзамен
18	9	10	13	50

Відповіді під час проведення експрес-опитувань на лекціях

Ваговий бал 1. Максимальна кількість балів на всіх лекціях – 1 бал * 18 = 18 балів.

Критерії оцінювання

- правильні відповіді на окремі питання з місця – 1;
- частково вірна відповідь – 0.5;
- невірна відповідь – 0;
- заохочення за активність на занятті чи вирішення додаткових завдань – 1.

Робота на практичних заняттях

Ваговий бал –2. Максимальна кількість балів на всіх заняттях – 2 балів * 9 = 18 балів.

Критерії оцінювання

- самостійне розв'язання задачі, вільне володіння темою заняття –2;
- розв'язання задачі за допомогою викладача, володіння окремими розділами теми заняття – 1;
- незадовільна робота на занятті – 0.
- заохочення за активність на занятті чи вирішення додаткових завдань – 1.

Модульна контрольна робота

Ваговий бал МКР – 10.

Максимальний бал за МКР – 10.

Критерії оцінювання

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 10 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 5 – 9 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 1-5 бали;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на «3 бали») або відсутність під час проведення роботи – 0 балів.

Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є значення поточного рейтингу студента не менше 50% від максимально можливого на час атестації.

Розрахунково-графічна робота

Ваговий коефіцієнт дорівнює 13. Максимальна кількість балів за одну розрахунково-графічну роботу становить $13 \times 1 = 13$ балів.

Критерії оцінювання

-вчасний захист роботи у встановлений термін	1...13
-невчасний захист роботи до проведення екзамену	0...8
-невчасний захист роботи після проведення екзамену	0

За плагіат накладається штраф 10 балів та змінюється варіант завдання.

Форма семестрового контролю – екзамен

Необхідною умовою допуску до екзамену є відпрацьовані практичні заняття і виконана розрахунково-графічна робота. Екзамен є обов'язковим.

Екзаменаційна робота складається з теоретичного і практичного питань..

Критерії оцінювання екзамену

Максимальний рейтинг екзамену дорівнює 50 балів. Теоретичне і практичне питання оцінюються у 25 балів.

Система оцінювання теоретичного питання:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 23-25 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 18-22 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 15-17 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам на 9 балів) – 0 балів.

Система оцінювання практичного завдання:

- «відмінно», повне безпомилкове розв'язування завдання – 23-25 балів;
- «добре», повне розв'язування завдання з несуттєвими неточностями – 18-22 балів;
- «задовільно», завдання виконано з певними недоліками – 15-17 балів;
- «незадовільно», завдання не виконано – 0 балів.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Вивчення дисципліни здійснюється шляхом вирішення конкретних задач. Бажано, щоб під час лекцій студенти використовували комп'ютери для демонстрації теоретичних положень та їх практичного застосування.

Передбачається, що усі розглянуті приклади з використання систем ідентифікації, спостереження і адаптивного керування в електромеханічних системах будуть досліджені методом математичного моделювання з використанням моделюючих програм, які надаються студентам.

Теми, які виносяться на семестровий контроль

1. Теоретичні питання формуються відповідно до тем лекційних занять. Вони вміщують математичний синтез системи, доведення стійкості.

2. Задача (практичне запитання) полягає в дослідженні системи, яка синтезована в теоретичному питанні, шляхом моделювання. Студент має використати моделюючу програму, яку він розробляв на практичних заняттях, промодельовати, оформити графіки перехідних процесів і надати їх аналіз.

Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у НАКАЗІ № 7-177 від 01.10.2020 Про ЗАТВЕРДЖЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ВИЗНАННЯ В КПІ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ, НАБУТИХ У НЕФОРМАЛЬНІЙ/ІНФОРМАЛЬНІЙ ОСВІТІ

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професором кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу ФЕА, д.т.н. Пересадою С. М.

Ухвалено кафедрою автоматизації електромеханічних систем та електроприводу ФЕА (протокол № 11 від 21.06.2023 р.)

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