

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни
«Моделювання та методи оптимізації електромеханічних систем»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти

***141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Електромеханіка)***

за темою № 2 – Методи розв'язування систем диференціальних рівнянь, що описують динаміку лінійних електромеханічних систем

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023 № 1.

***Розробник:** старший викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Шмельов Ю.М.*

Рецензенти:

1. Доцент кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», кандидат технічних наук, доцент Шокарьов Д.А.
2. Старший викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.

План лекції:

1. Класифікація електромеханічних систем.
2. Класичний метод розв'язання систем диференціальних рівнянь.
3. Операторний метод розв'язання систем диференціальних рівнянь.
4. Розв'язання систем диференціальних рівнянь із застосуванням теорем.

Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті**Основна література:**

1. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. Кременчук, 2001. 410 с.

Допоміжна література:

1. Чорний О.П., Толочко О.І., Титюк В.К. та інші Математичні моделі та особливості чисельних розрахунків динаміки електроприводів з асинхронними двигунами: монографія. Кременчук: ПП Щербатих О.В, 2016. 302 с.
2. Толочко О.І. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 150 с.
3. Лозинський А.О., Мороз В.І., Паранчук Я.С. Розв'язування задач електромеханіки в середовищі пакетів MathCAD і MATLAB: Навчальний посібник. Львів: Видавництво Державного університету «Львівська політехніка», 2000. 166 с.
4. Довгань С. М. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання: навчальний посібник. Дніпропетровськ: НГА України, 2001. 137 с.
5. Дерещ О. Л. Спеціальні питання математичного опису і моделювання динаміки складних систем». Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2011. 104 с.

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

Електромеханічна система (ЕМС) - це система, що здійснює перетворення електричної енергії в механічну й навпаки. Всі електричні привода є електромеханічними системами. ЕМС містять у собі електромеханічний перетворювач енергії (ЕМПЕ), силовий перетворювач енергії (СПЕ) і систему керування. ЕМПЕ виконують основну функцію ЕМС - перетворюють електричну енергію в механічну (двигуни) або механічну в електричну (генератори). ЕМПЕ бувають постійний і змінний токи. У свою чергу залежно від типу збудження ЕМПЕ постійного струму підрозділяють на ЕМПЕ незалежного, паралельного, послідовного й змішаного збудження. До ЕМПЕ змінного струму ставляться асинхронні, синхронні, вентильно-індукційні. У дійсному посібнику будуть розглядатися тільки ЕМПЕ постійного струму незалежного збудження.

СПЕ - це пристрої, що перетворюють електричну енергію одного виду або з одними параметрами в електричну енергію іншого виду або з іншими параметрами. В елементну базу СПЕ входять резистори, конденсатори, індуктивності (дроселі й трансформатори) і напівпровідникові вентиля (діоди, тиристори, транзистори й т.д.).

До СПЕ відносяться випрямлячі, інвертори, перетворювачі частоти, імпульсні перетворювачі постійного струму, регулятори змінної напруги, силові фільтри, компенсатори реактивної потужності.

Залежно від числа фаз СПЕ діляться на однофазні й багатofазні. Для нормальної роботи ЕМС варто підтримувати необхідні значення її координат, у якості яких можуть виступати швидкість або положення вала ЕМПЕ, струм, напруга. Координати ЕМС у процесі роботи можуть відхилятися від заданих значень через впливи, що обурюють. Усунення таких відхилень - задачі системи керування ЕМС. Системи керування діляться на аналогові, цифрові й гібридні. Регулювання координат ЕМС здійснюється за рахунок спеціального пристрою - регулятора.



Рис. 1. Система автоматичного регулювання швидкості двигуна постійного струму незалежного збудження (ДПТ НВ)

У даній системі (мал. 1) на вхід регулятора подається помилка регулювання $U_{\text{зад}}$, обумовлена різницею напруги задачі $U_{\text{зад}}$ і напруги $U_{\text{ос}}$,

що надходить на вхід регулятора по каналі зворотного зв'язку з виходу системи. При цьому регулятор забезпечує підтримку швидкості двигуна на заданому рівні. Даний принцип регулювання називається регулюванням за принципом відхилення регульованої змінної від заданого значення [5]. Більшість автоматичних систем працює по цьому принципі. Перетворення сигналу помилки регулювання в керуючий сигнал здійснюється регулятором відповідно до математичних операцій, необхідними за умовами роботи системи регулювання швидкості. Залежно від виду таких операцій регулятори бувають пропорційні (П-регулятори), пропорційно-інтегральні (Пі-регулятори), пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД-регулятори) і т.д.

У загальному випадку ЕМС діляться на лінійні й нелінійні. Лінійна ЕМС - така система, у якій основні характеристики (по керуванню й збурюванню) описуються лінійними функціями, а саму систему можна представити такою, що складається з типових динамічних ланок. У свою чергу, нелінійна ЕМС - це система, що містить хоча б один нелінійний елемент, тобто елемент, у якому зв'язок між входом і виходом описується нелінійною функцією.

ЕМС можуть працювати у двох режимах - статичі й динаміку. Основним інтересом для математичного моделювання представляє динаміка - несталий стан ЕМС при переході з одного стійкого положення в інше під дією зовнішніх сил, що змушують. Динамічний стан будь-який ЕМС описується системою диференціальних рівнянь (СДР). Статика - це такий режим роботи ЕМС, коли похідні всіх координат системи дорівнюють нулю, тобто координати системи не міняються по величині згодом (сталій режим). Для одержання рівнянь, що описують статичний режим роботи ЕМС, досить у СДР для динамічного режиму дорівняти похідні координат ЕМС до нуля.

Основними задачами математичного моделювання ЕМС є розв'язання описуваної її СДР й подальший аналіз цього розв'язання.

Існує два основних види методів розв'язання СДР - аналітичні й чисельні. Лінійні ЕМС описуються лінійними диференціальними рівняннями, які можуть бути вирішені як аналітичними, так і чисельними методами. Розходження цих методів полягає в тому, що при використанні чисельних методів розв'язання СДР є трохи неточним. Аналітичні ж методи дозволяють одержати точне розв'язання, що не містить погрішності. Нелінійні ЕМС описуються нелінійними диференціальними рівняннями, для розв'язання яких застосовні тільки чисельні методи.