

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ
ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**КАФЕДРА
АВТОМАТИКИ ТА РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
ім. акад. І. І. Мартиненка**

**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ
КОМПЛЕКС**

з дисципліни

«ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ»
(назва навчальної дисципліни)

спеціальність **151 – «Автоматизація та комп'ютерно-
(шіфр і назва напрямку підготовки)
інтегровані технології»**

Київ * 2020

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**НАУКОВО-НАВЧАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ
ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

Кафедра **АВТОМАТИКИ ТА РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**
ім. акад. І. І. Мартиненка

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження
д.т.н., проф. _____ В.В. Козирський
« _____ » _____ 2020 р.

РОЗГЛЯНУТО Й СХВАЛЕНО

на засіданні кафедри автоматики та
робототехнічних систем ім. І.І. Мартиненка

Протокол №32 від «03» травня 2020 р.
Завідувач кафедри

д.т.н., проф. _____ В.П. Лисенко

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ»

(назва навчальної дисципліни)

для підготовки фахівців
спеціальність – **151** – «Автоматизація та
комп'ютерно- інтегровані технології»

Розробник: к.т.н., доцент _____ І.Т. Цигульов
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Київ * 2020

1. Опис навчальної дисципліни **ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ**

(назва)

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень		
Галузь знань	0502 – Автоматика та управління	
Спеціальність	151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»	
Освітньо-кваліфікаційний рівень	бакалавр	
Характеристика навчальної дисципліни		
Вид	вибіркова	
Загальна кількість годин	104	
Кількість кредитів ECTS	3,5	
Кількість змістовних модулів	2	
Форма контролю знань	ЗАЛК	
Показники навчальної дисципліни для денної та заочної форм навчання		
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Рік підготовки	2019	2019
Семестр	5	8
Лекційні заняття	30 год.	6
Лабораторні заняття	30 год.	4
Самостійна робота	40 год.	78
Залік	4	2
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних самостійної роботи студента	4 год. 2,5 год.	

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета. Метою дисципліни є оволодіння майбутніми спеціалістами принципами побудови та методами розрахунку, розробки та використання технічних засобів автоматизації, що застосовуються в сільськогосподарському виробництві.

Завдання. Завданням дисципліни є:

навчити студентів розуміти принцип дії технічних засобів автоматизації, що застосовуються в сільському господарстві;

розвинути практичні навички вибору, розрахунку і застосування технічних засобів автоматизації при вирішенні задач автоматизації сільськогосподарського виробництва.

В результаті вивчення цієї дисципліни студент повинн:

знати:

принципи побудови та методами розрахунку технічних засобів автоматизації, що застосовуються в сільськогосподарському виробництві

номенклатуру технічних засобів автоматизації;

вміти:

здійснювати обґрунтований вибір технічних засобів автоматизації;

вирішувати практичні завдання, пов'язані з із застосуванням технічних засобів автоматизації у системах керування, які використовуються в сільському господарстві.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Електричні виконавчі механізми

Вступ. Цілі і задачі дисципліни.

Тема лекційного заняття 1. Загальні характеристики і класифікація виконавчих пристроїв систем автоматичного керування: основні поняття та визначення; класифікація, типове забезпечення та інтеграція сучасних автоматизованих систем управління; класифікація автоматизованих систем управління; сучасна модель автоматизації промислового підприємства АПК; функції і компоненти типового забезпечення АСУТП; функціональні структурні схеми автоматичних систем; функціональні елементи та пристрої систем сільськогосподарської автоматики.

Тема лекційного заняття 2. Загальні характеристики і класифікація виконавчих пристроїв систем автоматичного керування: призначення виконавчих пристроїв; класифікація виконавчих пристроїв; характеристики виконавчих пристроїв; вимоги до виконавчих пристроїв.

Тема лекційного заняття 3. Електричні виконавчі механізми: електричні виконавчі механізми; виконавчі механізми з електродвигунами постійного струму: класифікація ДПС; будова; схеми збудження; електромагнітний момент; електрорушійна сила; статичні характеристики ДПС незалежного збудження.

Тема лекційного заняття 4. Електричні виконавчі механізми: регулювання швидкості ДПС; режими роботи ДПС; динамічні характеристики ДПС НЗ.

Тема лекційного заняття 5. Електричні виконавчі механізми: виконавчі механізми з електродвигунами змінного струму; загальні відомості; класифікація основних типів асинхронних двигунів; принцип роботи асинхронного двигуна; електромагнітний

момент асинхронного двигуна; механічна характеристика; режими роботи асинхронного двигуна.

Тема лекційного заняття 6. Електричні виконавчі механізми: способи регулювання кутової швидкості обертання ротора асинхронного двигуна; регулювання кутової швидкості обертання ротора асинхронного двигуна змною статорної напруги; регулювання кутової швидкості обертання ротора асинхронного двигуна шляхом зміни кількості пар полюсів; частотне регулювання кутової швидкості обертання ротора асинхронного двигуна.

Тема лекційного заняття 7. Електричні виконавчі механізми: однофазні асинхронні двигуни; конструкція та принцип дії ОАД; пускові пристрої; способи управління ОАД.

Тема лекційного заняття 8. Електричні виконавчі механізми: синхронні, вентильні та крокові електродвигуни: будова; статичні та динамічні характеристики.

Змістовий модуль 2. Пневматичні і гідравлічні виконавчі механізми

Тема лекційного заняття 9. Електричні виконавчі механізми: однообертові електродвигунові виконавці пристрої; багато оберткові механізми МЕМ і приводи ПЕМ.

Тема лекційного заняття 10. Електричні виконавчі механізми: електромагнітні виконавчі механізми; класифікація електромагнітних виконавчих пристроїв; тягові електромагніти; виконавчі механізми з електромагнітним клапаном; виконавчі механізми з електромагнітною муфтою: будова; статичні і динамічні характеристики; індукційні електромагнітні муфти.

Тема лекційного заняття 11. Гідравлічні та пневматичні виконавчі механізми: гідравлічний привод; загальна характеристика приводу; класифікація і принцип роботи гідроприводів; переваги й недоліки гідроприводу.

Тема лекційного заняття 12. Гідравлічні та пневматичні виконавчі механізми: основні положення та визначення; гідроциліндри: загальні відомості і класифікація; основні параметри поршневих гідроциліндрів; регулювання швидкості руху вихідної ланки гідроциліндра.

Тема лекційного заняття 13. Гідравлічні та пневматичні виконавчі механізми: поворотні гідродвигуни: загальні відомості і класифікація; основні параметри поворотних гідродвигунів; гідромотори.

Тема лекційного заняття 14. Гідравлічні та пневматичні виконавчі механізми: гідравлічні підсилювачі: загальні положення; класифікація; гідравлічний підсилювач типу сопло-заслінка; гідравлічний підсилювач золотникового типу; гідравлічний підсилювач із струменевою трубкою.

Тема лекційного заняття 15. Регулюючі органи: призначення; особливості конструкції; загальні вимоги до регулюючих органів; основні характеристики регулюючих органів; методика вибору регулюючих органів.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістовних модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		л	пз	лз	ср		л	пз	лз	ср
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Змістовий модуль 1. Електричні виконавчі механізми										
Вступ. Задачі й цілі дисципліни. Тема 1. Загальні характеристики і класифікація виконавчих механізмів систем автоматичного керування	6	4	–	–	2					
Тема 2. Електродвигунові виконавчі механізми	27	12	6	8	12					
Разом за змістовим модулем 1	48	16	6	8	14					
Змістовий модуль 2. Пневматичні і гідравлічні виконавчі механізми										
Тема 2. Електродвигунові виконавчі механізми	17	4	4	4	6					
Тема 3. Гідравлічні та пневматичні виконавчі механізми	14	10	6	2	10					
Разом за змістовим модулем 2	36	14	10	6	16					
Усього годин	90	30	16	14	30					

5. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розрахунок механічних характеристик асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором	2
2	Дослідження часових характеристик електродвигунових	2

	виконавчих механізмів	
	Аналіз способів регулювання асинхронних електродвигунів	2
3	Розрахунок і вибір електродвигунних виконавчих механізмів	2
4	Вивчення й дослідження статичних характеристик електромагнітних виконавчих механізмів	4
5	Дослідження статичних та динамічних характеристик гідравлічних та пневматичних виконавчих механізмів	2
6	Розрахунок і вибір гідравлічних виконавчих механізмів	2

7. Індивідуальні завдання

Теми індивідуальних завдань визначені в метоличних розробках до практичних і лабораторних занять.

8. Методи навчання

При вивченні дисципліни «Типові технологічні процеси та об'єкти виробництв» використовуються 4 групи методів навчання:

▲ I група методів - методи організації та здійснення навчально-пізнавальної діяльності:

<i>Словесні</i>	<i>Наочні</i>	<i>Практичні</i>
<ul style="list-style-type: none"> розповідь-пояснення бесіда лекція 	<ul style="list-style-type: none"> ілюстрація демонстрація 	<ul style="list-style-type: none"> лабораторні роботи практичні роботи реферати
<i>Індуктивні методи</i>		<i>Дедуктивні методи</i>
узагальнення, пов'язані із проведенням експериментів на основі розрахункових даних		розвиток абстрактного мислення для засвоєння навчального матеріалу на основі узагальнень
<i>Репродуктивні методи</i>		<i>Творчі, проблемно-пошукові методи</i>
повторення готових розв'язків завдань, або робота за готовими прикладами		самостійна, творча пізнавальна діяльність
<i>Навчальна робота студентів під керівництвом НПП</i>		<i>Самостійна робота студентів</i>

▲ II група методів - методи стимулювання й мотивації навчально-пізнавальної діяльності:

<i>методи стимулювання інтересу до навчання</i>	<i>методи стимулювання обов'язку й відповідальності</i>
<ul style="list-style-type: none"> створення ситуації інтересу при викладанні матеріалу пізнавальні ігри навчальні дискусії аналіз життєвих ситуацій 	<ul style="list-style-type: none"> роз'яснення мети навчального предмета вимоги до вивчення предмета (орфографічні, дисциплінарні, організаційно-педагогічні) заохочення та покарання в навчанні

▲ІІІ група методів - методи контролю (самоконтролю, взаємоконтролю), корекції (самокорекції, взаємокорекції) за ефективністю навчально-пізнавальної діяльності:

<i>Компетенції</i>	<i>Функції оцінювання навчальних досягнень студента</i>
<ul style="list-style-type: none"> • соціальні • полікультурні • комунікативні • інформаційні • саморозвитку та самоосвіти • компетенції, що реалізуються у прагненні та здатності до раціональної продуктивної, творчої діяльності 	<ul style="list-style-type: none"> • контролююча; • навчальна • діагностично-коригуюча • стимулюючо-мотиваційна • виховна

▲ІV група методів - бінарні, інтегровані (універсальні) методи.

На практиці ми інтегруємо методи різних груп, утворюючи неординарні (універсальні) методи навчання, які забезпечують оптимальні шляхи досягнення навчальної мети.

9. Форми контролю

Контроль знань – проміжні атестації, допуск до виконання лабораторних робіт, захист виконаних лабораторних робіт, захист індивідуальних завдань на самостійну роботу, контрольні роботи, залік.

10. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточний контроль					Рейтинг з навчальної	Рейтинг з додаткової роботи $R_{\text{дп}}$	Рейтинг з штрафний, $R_{\text{штр}}$	Підсумкова атестація (екзамен)	Загальна кількість балів
Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2	Змістовий модуль 3	Змістовий модуль 4	Змістовий модуль 5					
0...100	0...100	0...100	0...100	0...100	0 30	0 20	0 5	0 70	0 100

Примітки. 1. Відповідно до «Положення про кредитно-модульну систему навчання в НУБіП України», затвердженого ректором університету 03.04.2009 р., рейтинг студента з навчальної роботи $R_{\text{НР}}$ стосовно вивчення певної дисципліни визначається за формулою

$$R_{\text{НР}} = \frac{0,7 \cdot (R_{\text{ЗМ}}^1 \cdot k_{\text{ЗМ}}^1 + \dots + R_{\text{ЗМ}}^n \cdot k_{\text{ЗМ}}^n)}{K_{\text{дис}}} + R_{\text{ДР}} - R_{\text{ШТР}},$$

де $R_{3M}^1, \dots, R_{3M}^n$ – рейтингові оцінки змістових модулів за 100-бальною шкалою;
 n – кількість змістових модулів;
 $k_{3M}^1, \dots, k_{3M}^n$ – кількість кредитів ECTS, передбачених робочим навчальним планом для відповідного змістового модуля;
 $K_{дис} = k_{3M}^1 + \dots + k_{3M}^n$ – кількість кредитів ECTS, передбачених робочим навчальним планом для дисципліни у поточному семестрі;
 $R_{ДР}$ – рейтинг з додаткової роботи;
 $R_{ШТР}$ – рейтинг штрафний.
 Наведену формулу можна спростити, якщо прийняти $k_{3M}^1 = \dots = k_{3M}^n$. Тоді вона буде мати вигляд[^]

$$R_{НР} = \frac{0,7 \cdot (R_{3M}^1 + \dots + R_{3M}^n)}{n} + R_{ДР} - R_{ШТР}.$$

Рейтинг з додаткової роботи $R_{ДР}$ додається до $R_{НР}$ і не може перевищувати 20 балів. Він визначається лектором і надається студентам рішенням кафедри за виконання робіт, які не передбачені навчальним планом, але сприяють підвищенню рівня знань студентів з дисципліни.

Рейтинг штрафний $R_{ШТР}$ не перевищує 5 балів і віднімається від $R_{НР}$. Він визначається лектором і вводиться рішенням кафедри для студентів, які матеріал змістового модуля засвоїли невчасно, не дотримувалися графіка роботи, пропускали заняття тощо.

2. Згідно із зазначеним Положенням **підготовка і захист курсового проекту (роботи)** оцінюється за 100 бальною шкалою і далі переводиться в оцінки за національною шкалою та шкалою ECTS.

Проміжний контроль знань студентів здійснюється регулярно на лекційних і практичних заняттях шляхом їх опитування з пройденого матеріалу. Форма контролю знань із змістового модуля 1 – результати семінарських виступів, тестових завдань, виконання лабораторних робіт. Змістовий модуль 2 оцінюється за результатами виконання практичних робіт, тестових завдань, виконання лабораторних робіт.

Підсумковий контроль знань здійснюється **на заліку**.

Оцінка **"Відмінно"** виставляється студенту, який протягом семестру систематично працював, на заліку показав різнобічні та глибокі знання програмного матеріалу, вміє вільно виконувати завдання, що передбачені програмою, засвоїв основну та знайомий з додатковою літературою, відчуває взаємозв'язок окремих розділів дисципліни, їх значення для майбутньої професії, виявив творчі здібності в розумінні та використанні навчально-програмного матеріалу, проявив здатність до самостійного оновлення і поповнення знань.

Оцінка **"Добре"** виставляється студенту, який виявив повне знання навчально-програмного матеріалу, успішно виконує

передбачені програмою завдання, засвоїв основну літературу, що рекомендована програмою, показав стійкий характер знань з дисципліни і здатний до їх самостійного поповнення та поновлення у ході подальшого навчання та професійної діяльності.

Оцінка **"Задовільно"** виставляється студенту, який виявив знання основного навчально-програмного матеріалу в обсязі, необхідному для подальшого навчання та наступної роботи за професією, справляється з виконанням завдань, передбачених програмою, допустив окремі похибки у відповідях на заліку та при виконанні екзаменаційних завдань, але володіє необхідними знаннями для їх подолання під керівництвом науково-педагогічного працівника.

Оцінка **"Незадовільно"** виставляється студенту, який не виявив достатніх знань основного навчально-програмного матеріалу, допустив принципові помилки у виконанні передбачених програмою завдань, не може без допомоги науково-педагогічного працівника використати знання при подальшому навчанні, не спромігся оволодіти навичками самостійної роботи.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту	для заліку
90...100	A	відмінно	зараховано
82...89	B	добре	
74...81	C		
64...73	D	задовільно	
60...63	E		
35...59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	Не зараховано з можливістю повторного складання
0...34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

11. Методичне забезпечення

Методичні вказівки до виконання практичних і лабораторних робіт.

12. Рекомендована література

Базова

1. Автоматика и автоматизация производственных процессов. И.И.Мартыненко, Б.Л.Головинский, Р.Д.Проценко, Т.Ф.Резниченко. – М.:Агропромиздат, 1985. – 328 с.

2. Бородин И.Ф., Кириллин Н.И. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. – М.:Колос, 1977. – 327 с.
3. Климентовський Ю.А., Гладкий А.М. Технічні засоби автоматики. – К.:Видавництво “КВІЦ”, 2003. – 238 с.
4. Кудрявцев И.Ф., Карасев О.Б., Малютин Л.Н. Автоматизация производственных процессов на животноводческих фермах и комплексах. – М.: Агропромиздат, 1985. – 223 с.
5. Мартыненко И.И., Лысенко В.Ф. Проектирование систем автоматики. - М.:Агропром-издат, 1990. – 200 с.

Допоміжна

1. Бохан Н.И., Бородин И.Ф., Дробышев Ю.В. и др. Средства автоматики и телемеханики. – М.:Агропромиздат, 1992. – 352 с.
2. Иванов А.И., Куликов А.А., Третьяков Б.С. Контрольно-измерительные приборы в сельском хозяйстве. – М.:Колос, 1984. – 352 с.
3. Ключев А.Ф. Автоматическое регулирование.- М.:Энергия, 1973. – 280 с.
4. Шеповалов В.Д., Николаев С.А., Рабский В.Н. Приборы и устройства сельскохозяйственной автоматики. – М.:Колос, 1994. – 448 с.
5. Штейнберг Ш.Е., Хвилевецкий Л.О., Ястребенецкий М.А. Промышленные автоматические регуляторы. Под ред. Е.П.Стефани. – М.: Энергия, 1973. – 568 с.

13. Інформаційні ресурси

Науково-публічні бібліотеки, інтернет, періодичні видавництва тощо.

Критерії оцінки знань студентів.

Розрахунок модульно-рейтингової оцінки знань.

Критерії оцінювання за модулями

Вид діяльності	Кількість балів	З урахуванням ваги модуля
----------------	-----------------	---------------------------

Модуль 1. Електричні виконавчі механізми. (35 %)

Навчальна робота	70	
Теоретичні знання: лекції 1...5	35	12,25
Практичне заняття №1	5	1,75
Лабораторна робота №1	7,5	2,625

Практичне заняття №2	5	1,75
Модульний контроль		
<u>Модульне завдання</u>	17,5	6,125
<u>Модульний тест</u>	30	10,5
Всього за модуль 1	100	35

Модуль 2. Пневматичні і гідравлічні виконавчі механізми. (35 %)

Навчальна робота а		
Теоретичні знання: лекції: 6...10	35	12,25
Лабораторна робота №2	7,5	2,625
Практичне заняття №3	5	1,75
Практичне заняття №4	5	1,75
Модульний контроль		
<u>Модульне завдання</u>	17,5	6,125
<u>Модульний тест</u>	30	10,5
Всього за модуль 2	100	35

Підсумкова атестація (30%)

<u>Підсумковий тест</u>	100	30
--------------------------------	------------	-----------

Курс складається з двох модулів. Їх характеристику приведено в таблиці.

Кожен модуль оцінюємо в балах, враховуючи активність на лекціях, виконання і захист лабораторних робіт, виконання контрольних та самостійних робіт.

Модуль	Лекції, годин	Лаб. роботи, годин	Модульний контроль	Всього, годин	Рейтинг навч. Роботи, R _{нр} , балів	Рейтинг атестат., R _{ат} , балів	Кредити ECTS
1	10/35	8/35	18/30	18/100	18/35		0,5
2	10/35	10/35	20/30	20/100	20/35		0,5
Всього	20/70	18/70	38/30	38/100	38/70	38/30	1,0

Примітка. Тут і в подальшому в чисельнику подано бали із абсолютного значення кількості годин, необхідних для виконання дисципліни, а в знаменнику – число балів, виходячи із 100-бальної величини рейтингу дисципліни.

Наведена кількість балів за навчальну роботу студента складає 70% від загальної кількості балів. Ще 30% припадає на атестацію (залік). Тобто рейтинги з навчальної роботи та атестації складають:

R_{нр}=38/70 балів, R_{ат}=38/30 балів

Студент може збільшувати свої рейтинги на величину додаткового рейтингу Rдр за роботу, визначену лектором. Останній вводить кафедра АіРТС за виконання робіт, які не передбачені навчальним планом, але сприяють підвищенню кваліфікації студента з дисципліни (доповідь на студентській конференції, здобуття високого місця на Всеукраїнській олімпіаді, виготовлення макетів, підготовка наочних макетів тощо).

Рейтинг з додаткової роботи Rдр може складати 10% від рейтингу з дисципліни (тобто 8/10 балів). Rдр додається до Rнр.

Рейтинг штрафний Rштр віднімається від Rнр і може складати до 5% від Rнр (для даного випадку Rштр=4/3,5 балів). Rштр визначає лектор. Його вводить своїм рішенням кафедра АіРТС для студентів, які несвоєчасно засвоїли матеріал модуля, не дотримувались графіка роботи, пропускали заняття тощо.

Для допуску до атестації (заліку) студенту необхідно мати не менше 50% від рейтингу з навчальної роботи Rнр (38/35 балів). Це означає, що в цілому студенту необхідно виконати такий мінімум робіт:

- виконати всі експериментальні завдання (лабораторні роботи, домашні завдання, контрольні роботи);
- уникнути штрафних санкцій лектора.

Рейтинг атестації Rat включає рейтинг з іспиту Ric і визначається кількістю балів, отриманих студентом на атестації з дисципліни і передбачених робочим навчальним планом.

Студенти, які протягом семестру набрали необхідну кількість балів (не менше 60% від розрахункового рейтингу дисципліни, тобто 38/60 балів) мають можливість:

- не складати іспит, отримати оцінку “Автоматично”, відповідно до набраної за семестр кількості балів, переведених в національну оцінку згідно з даними таблиці;
- скласти іспит з метою підвищення рейтингу з дисципліни;
- у разі отримання за результатами складання іспиту оцінки меншої ніж “Автоматично” за рейтингом навчальної роботи, за студентом зберігається оцінка “Автоматично”.

Студенти, які протягом навчального семестру набрали кількість балів, що менша від 60% від розрахункового рейтингу дисципліни (20/60 балів), тобто оцінку “не зараховано”, зобов'язані складати іспит.

Студенти, які протягом навчального семестру набрали кількість балів, що менша від 50% від розрахункового рейтингу дисципліни (11/35 балів), зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до іспиту з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Студентам, які успішно завершили засвоєння дисципліни, задовольнили всі необхідні вимоги щодо атестації, присвоюють кредити ECTS, призначені для дисципліни робочим навчальним планом. Кредити записують в журнал рейтингової оцінки знань студента.

14. Лекційний матеріал

Вступ. Цілі і задачі дисципліни.

Тема лекційного заняття 1. Загальні зведення про виконавчі пристрої: основні поняття й визначення виконавчих пристроїв; регулюючі органи; класифікація та принципи побудови; характеристики; вимоги.

Дисципліна “Виконавчі пристрої систем керування”

Викладачі:

Цигульов Іван Тихонович, доцент, ктн, доцент

Цицюрський Юрій Леонтійович, асистент

На дисципліну відведено:

на лекції 19 год.;

на лабораторні заняття 19 год.;

сам. Роб. 19 год.

звітність за дисципліну залік.

Література.

1. *Бородин И.Ф.* Технические средства автоматики: - М.: Колос, 1982.

– 303 с.

2. *Климентовський Ю.А., Гладкий А.М.* Технічні засоби автоматики:

Навчаль-

не видання. – К.: Видавництво “КВІЦ”, 2003. – 238 С.

3. *Коновалов Л.Л., Петелин Д.П.* Элементы и системы автоматики: -

М.: Высшая школа, 1985. – 253 с.

Лекція №1. Тема 1. Основні поняття та визначення

1. Призначення виконавчих пристроїв

2. Класифікація виконавчих механізмів

3. Характеристики виконавчих механізмів

4. Вимоги до виконавчих пристроїв автоматичних систем

5. Електродвигунові виконавчі механізми

1. Призначення виконавчих пристроїв

Технічні засоби використання командної інформації і дії на об'єкт керування утворюють вихідну функціональну групу виробів Державної системи промислових приладів і засобів автоматизації. Ці технічні засоби зазвичай називають *виконавчими пристроями*. (рис. 1.1).

Виконавчий пристрій (ВП) – це силовий пристрій, призначений для зміни регульовальної дії на об'єкт керування відповідно до сигналу керування, що надходить на його вхід від командного пристрою (блоку ручного керування, регулятора, контролера, керуваної ЕОМ). Виконавчий пристрій у загальному випадку складається з трьох основних частин: елемента керування, виконавчого механізму (ВМ) і керувального (регульовального) органу [К(Р)О].

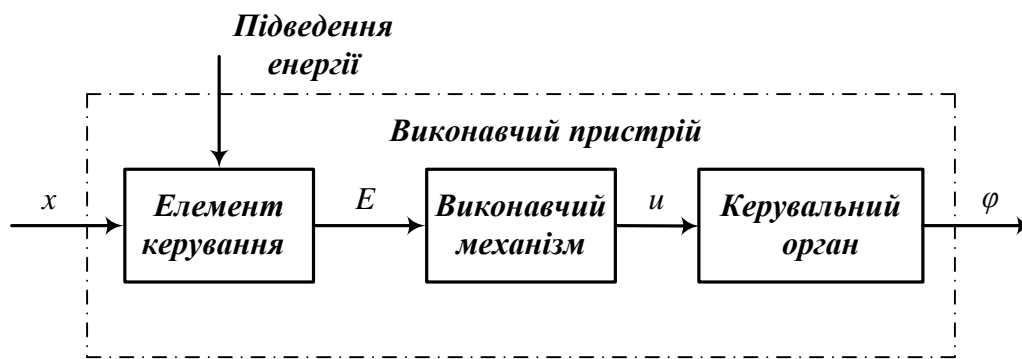


Рис. 1.3. Функціональна схема виконавчого пристрою

Елемент керування здійснює підведення робочої речовини (напруги, рідини або газу під тиском) від стороннього джерела живлення до виконавчого механізму.

Виконавчий механізм перетворює вхідну командну інформацію у певну силову дію на регулювальний орган об'єкту керування або на сам об'єкт керування. Виконавчий механізм переміщає регулювальний орган відповідно до заданого закону регулювання при мінімально можливих відхиленнях.

Іншими словами можна сказати, що виконавчий пристрій є перетворювачем сигналу керування в регулювальну дію u .

У більшості випадків виконавчий механізм діє від сторонніх джерел енергії, оскільки безпосереднє керування виконавчим механізмом від первинних елементів регулювання (мікропроцесорів, реле, датчиків, і ін.) неможливе унаслідок їх малої потужності, недостатньої для дії на регулювальний орган. Конкретні ВМ можуть виготовлятися як у вигляді єдиних конструктивних модулів, так і збиратися з окремих блоків.

Регулювальний орган здійснює безпосередню регулювальну дію на об'єкт керування. Зміна положення регулювального органу викликає зміну потоку енергії або матеріалу, що поступають на об'єкт, і тим самим впливає на роботу машини, механізми і технологічні процеси, усуваючи відхилення регульованої величини від заданого значення.

1.2. Класифікація виконавчих пристроїв і регулювальних органів

Класифікація виконавчих пристроїв (рис.1.4) проводиться насамперед за споживаної енергії, що створює зусилля (момент) переміщення регулювального органу. Відповідно, ВП бувають пневматичні, гідравлічні і електричні.

В *пневматичних* ВП зусилля переміщення створюється за рахунок тиску стислого повітря на мембрану, поршень або сильфон; тиск зазвичай не перевищує 10^3 кПа.

В *гідравлічних* ВП зусилля переміщення створюється за рахунок тиску рідини на мембрану, поршень або лопать; тиск рідини у них зазвичай знаходиться в межах $(2,5 - 20) 10^3$ кПа. Окремий підклас гідравлічних ВП складають ВП з гідромуфтами.

Пневматичні і гідравлічні мембранні і поршневі ВП підрозділяються на пружинні і безпружинні. У пружинних ВП зусилля переміщення в одному напрямі створюється тиском в робочій порожнині ВМ, а у зворотному напрямі – силою пружності стислої пружини. У безпружинних ВП зусилля переміщення в обох напрямках створюється перепадом тиску на робочому органі механізму.

Електричні ВП за принципом дії підрозділяються на електродвигунові (електромашинні) і електромагнітні.

По характеру руху вихідного елемента більшість ВП підрозділяються на: *прямоходні* з поступальним рухом вихідного елемента, *поворотні* з обертальним рухом до 360° (*однооборотні*) і з обертальним рухом на кут більше 360° (*багатооборотні*).

Існують ВП, у яких використовуються одночасно два види енергії: електропневматичні, електрогідравлічні і пневмогідравлічні. Вид енергії сигналу, що керує, може відрізнитися від виду енергії, що створює зусилля переміщення.

В електричних системах автоматичного і автоматизованого керування найширше застосовуються електромашинні і електромагнітні виконавчі пристрої.

Основним елементом *електромашиного* ВП є електричний двигун постійного або змінного струму. Такі виконавчі пристрої зазвичай називають *електроприводами*, оскільки згідно ГОСТ електропривод – це електромеханічна система, що складається з електродвигунового, електричного перетворювального, механічного передавальних пристроїв, що керують і вимірювального, призначена для приведення в рух регулюючих органів робочої машини і керування цим рухом.

Електромагнітні ВП дискретної дії виконуються в основному на базі електромагнітів постійного і змінного струму і постійних магнітів. Жорстке і пружне з'єднання вузлів систем здійснюють різного роду електромагнітні муфти.

Безліч *регулюючих органів* також багатообразно, як багатообразні об'єкти керування. Як приклад можна привести основні типи РО, вживаних в системах подачі і переміщення рідких, газоподібних і сипких матеріалів. За видом дії на об'єкт їх можна підрозділити на два основні типи: дроселюючі і дозуючі.

Дроселюючі РО змінюють опір (гідравлічний, аеродинамічний) у системі шляхом зміни свого прохідного перетину, впливаючи на витрату речовини. Прикладами таких РО є заслінки, діафрагми, засувки, крани, клапани.

Дозуючі РО виконують задане дозування речовини, що поступає, або енергії за рахунок зміни продуктивності певних агрегатів: дозаторів, насосів, компресорів, живильників, електричних підсилювачів потужності.

3. Характеристики виконавчих пристроїв

За статичними властивостями (за статичною характеристикою $u = f(x)$) ВП поділяються на:

статичні ВП, у яких кожному значенню сигналу керування x на усталених режимах роботи ВП відповідає відповідне значення керуючої дії u ;

астатичні ВП, у яких одному нульовому значенню сигналу керування x_0 відповідає нескінченна множина значень керуючої дії u ;

позиційні ВП (дво- чи трипозиційні), у яких вихідний сигнал — u при зміні вхідного — x може приймати два чи три дискретні значення (позиції).

Залежно від швидкості зміни керуючої дії ВП можна поділити на: ВП з постійною швидкістю зміни керуючої дії u (ізодромні ВП): тобто $du/dt = \text{const}$, незалежно від x ;

ВП, у яких швидкість зміни керуючої дії u залежить від величини сигналу керування x : тобто $du/dt = f(x)$.

1) *робоча характеристика* серводвигуна у разі обертального руху вихідної ланки є залежністю обертів двигуна n і корисного моменту M на валу двигуна від корисної потужності P цього двигуна ($n_{\text{НОМ}}$ і $P_{\text{НОМ}}$ — відповідно номінальні оберти і потужність). Робоча характеристика серводвигуна у разі поступального руху вихідної ланки є залежністю швидкості руху і тягового зусилля від корисної потужності P цього двигуна;

2) *механічна характеристика* серводвигуна у разі обертального руху вихідної ланки визначає залежність обертів двигуна n від моменту M , що створюється ним, при різних значеннях параметра, що визначає його оберти, наприклад для електродвигуна від напруги живлення. У сімействі механічних характеристик двигуна ця величина є параметром.

Механічна характеристика серводвигуна у разі поступального руху вихідної ланки визначає залежність швидкості двигуна від

корисного тягового зусилля, що створюється ним, при різних значеннях параметра, що визначає його швидкість. Наприклад для гідроприводу – це значення швидкості двигуна залежно від корисного тягового зусилля, що створюється ним, при різних значеннях витрати живлячої робочої рідини;

3) *регульовальна характеристика* серводвигуна у разі обертального руху вихідної ланки визначає залежність обертів, що розвиваються двигуном, від тієї величини, зміною якої визначають обороти цього двигуна.

Регульовальні характеристики двигуна також є сімейством кривих, в якому параметром є величина навантаження. Регульовальною величиною наприклад, для електродвигунів може бути напруга, що подається на якір двигуна постійного струму, або струм його обмотки збудження, а навантаження характеризується опором, що підключається до електродвигуна R_H .

Регульовальна характеристика серводвигуна у разі поступальної руху вихідної ланки визначає залежність швидкості, що розвивається двигуном, від тієї величини, зміною якої задають швидкість цього двигуна.

Регульовальні характеристики двигуна також представляють собою сімейство кривих, в якому параметром є величина навантаження.

У сільськогосподарському виробництві для автоматизації стаціонарних об'єктів керування застосовують переважно електричні ВП, а на мобільних машинах – гідравлічні ВП.

Основними визначальними характеристиками виконавчих пристроїв

є:

швидкодія; точність; робочий діапазон; смуга робочих частот; максимальна корисна потужність; максимальне і номінальне

навантаження; пускове і робоче навантаження; потужність, необхідна для керування; коефіцієнт корисної дії; ресурс роботи.

Основними характеристиками ВП є:

обертаючий момент на валу (M_m) для поворотних ВМ і зусилля на штоці (H) для прямоходових ВМ;

кут повороту вала для однообертових ВМ, або число обертів вала для багатообертових;

час повного ходу вихідного органу ВМ від одного крайнього положення до іншого.

На роботу системи автоматичного регулювання впливають такі характеристики ВП:

вибіг ВМ, під яким розуміємо переміщення вихідного органу ВМ після його вимикання;

люфт ВМ, під яким розуміємо вільний хід вихідного органу ВМ при відсутності сигналу управління ($x = 0$);

гістерезис ВМ, який дорівнює різниці значень сигналів управління x , які відповідають одному і тому ж значенню u , при прямому і зворотному русі вихідного органу ВМ.

Вибіг ВМ, причиною якого є його інерційність, впливає на точність і стійкість системи. Люфт може стати причиною виникнення автоколивань.

4. Вимоги до виконавчих пристроїв автоматичних систем

Основними вимогами до ВП є:

- висока швидкодія, оцінювана за часом переходу з одного усталеного стану в інший під дією сигналу управління;

- достатня потужність, яка повинна перевершувати потужність, необхідну для зміни стану об'єкта управління або положення їхніх регулюючих органів на всіх режимах автоматичного управління для виключення впливу навантаження на швидкодію ВМ;

- жорсткість механічних характеристик, що являють собою залежності швидкості зміни управляючої дії від сили або моменту навантаження;

- висока кратність регулювання (відношення максимальної швидкості зміни керуючої дії до її мінімального значення, що забезпечує ще стійке регулювання при номінальному навантаженні);

- вибіг ВМ не повинен перевищувати 0,25... 1% повного ходу вихідного органу;

- величина люфту не повинна перевищувати 0,2...0,5 мм у прямоходових ВМ, і 3° — у поворотних;

- гістерезис не повинен бути більше 1,5%.

Тема лекційного заняття 2. Електродвигунові виконавчі механізми: виконавчі механізми з електродвигунами постійного струму: будова; схеми збудження; статичні і динамічні характеристики.

Лекція №2

Тема 2. Електричні виконавчі пристрої

2.5. Конструкція, принцип роботи і характеристики виконавчих двигунів постійного струму

На рис. 2.1 приведені основні типи двигунів постійного струму. Найбільшого поширення отримали колекторні двигуни постійного струму.

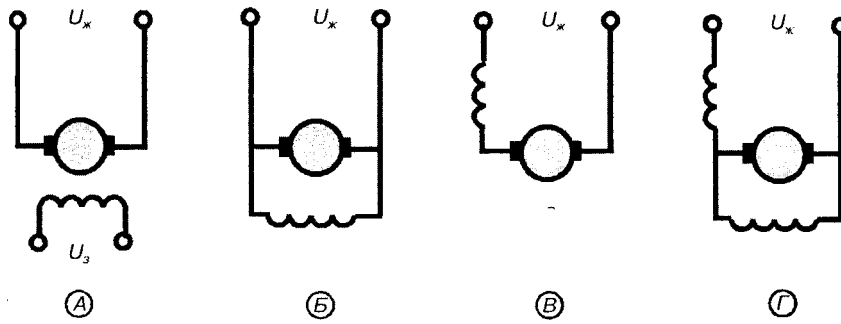


Рис. 5.6. Схеми вмикання обмотки збудження в електродвигунах постійного струму

Конструкція колекторних машин. Колекторна машина постійного струму характеризується тим, що в обмотці якоря наводиться змінна ЕДС, частота якої пропорційна кутовій швидкості ротора, а між обмоткою якоря і зовнішнім ланцюгом постійного струму включається механічний перетворювач частоти – колектор з щітками. В результаті у зовнішньому ланцюзі машини протікає постійний струм, а по кожному провідникові обмотки якоря – змінний, частота зміни якого визначається кутовою швидкістю ротора.

Колекторні машини постійного струму випускаються в основному з *барабанним (масивним)* ротором, окремі серії машин мікро і малій потужності випускаються з *порожнистим немагнітним* (серія ДПР) і *дисковим* (серія ПЯ) роторами. Колекторні машини можуть бути з електромагнітним збудженням і із збудженням від постійних магнітів.

Під способом збудження машини розуміється схема з'єднання обмоток збудження головних полюсів статора і якоря. Відповідно розрізняють машини незалежного, паралельного, послідовного і змішаного (за наявності на полюсах декількох обмоток) збудження. Конструктивно ці машини відрізняються тільки параметрами обмоток головних полюсів: обмотки незалежного і паралельного збудження виконують з великим числом витків з дроту малого перетину і

відносно великим опором; обмотки послідовного збудження – з малим числом витків з дроту великого перетину і відносно малим опором. Спосіб збудження вельми сильно впливає на основні характеристики машини.

Принцип роботи. Як виконавчі двигуни систем автоматичного керування найчастіше використовуються двигуни *незалежного збудження*. Схема включення такого двигуна показана на рис.2.2.

У коло якоря може бути включений додатковий опір R_D , наприклад пусковий реостат. Для регулювання струму збудження у коло обмотки збудження може бути включений регулювальний реостат R_P .

Принцип роботи двигуна постійного струму заснований на електромагнітній взаємодії нерухомого магнітного потоку збудження Φ із струмом I_A , що протікає по обмотці якоря. На кожен з провідників із струмом діє електромагнітна сила і створюється результуючий електромагнітний момент

$$M_{EM} = k_M \Phi I_A \quad (2.1)$$

де $k_M = \frac{p}{2\pi} \cdot \frac{N}{a}$ – конструктивний коефіцієнт, залежний від конструктивних параметрів машини; I_A – струм у колі якоря, А; Φ – магнітний потік одного полюса, Вб; p – число пар полюсів електродвигуна; N – число активних провідників обмотки якоря; a – число паралельних гілок обмоток якоря.

Цей момент примушує ротор обертатися, напрям моменту і обертів якоря збігаються.

При обертанні провідників якоря у полі збудження в кожному з них наводиться ЕРС обертання і з щіток знімається результуюча ЕРС обмотки якоря

$$E_A = k_E \omega \Phi \quad (2.2)$$

де ω – кутова швидкість якоря; $k_E = \frac{p}{2\pi} \cdot \frac{N}{a}$ – конструктивний коефіцієнт, залежний від конструктивних параметрів машини. У режимі двигуна ця ЕРС назустріч до струму якоря.

Аналізуючи формули (2.1) і (2.2), можна зробити висновок, що якщо кутова швидкість виражена в c^{-1} , а моменти – в Нм, то коефіцієнти k_M і k_E дорівнюють один одному:

$$k_M = k_E = \frac{pN}{2\pi a}, \text{ або } \frac{k_E}{k_M} = 1.$$

При зміні швидкості в об/хв, а моментів – в Нм $k_E = 0,1045k_M$, коли ж момент виражений в кГм – $k_E = 1,03k_M$.

Механічні характеристики. Механічна характеристика двигуна це залежність електромагнітного моменту, що розвивається двигуном, від кутової швидкості ротора. Механічні характеристики двигунів прийнято підрозділяти на *природних* і *штучних*.

Природна характеристика відповідає номінальній напрузі живлення і відсутності додаткових опорів в ланцюгах обмоток двигуна. Якщо хоч би одна з перерахованих умов не виконується, характеристика називається *штучною*.

Рівняння механічної характеристики $\omega = f(M_{EM})$ може бути знайдене з рівняння рівноваги ЕРС і напруги для якірного кола двигуна (рис.2.2), записаного на підставі другого закону Кирхгофа:

$$U_{я} = E_{я} + I_{я}(R_{я} + R_{д}) \quad (2.3)$$

і виразу для електромагнітного моменту

$$M_{EM} = k_M \Phi I_{я},$$

де $I_{я}$ – струм в колі якоря, А; $R_{я}$ – активний опір якоря; $R_{д}$ – додатковий опір.

Перетворюючи (2.3) з (2.1) і (2.2), отримаємо рівняння механічної характеристики

$$\omega = \frac{U_{\text{я}}}{k_E \Phi} - \frac{(R_{\text{я}} + R_{\text{д}})}{k_M k_E \Phi^2} M_{\text{ЕМ}}. \quad (2.4)$$

Це рівняння можна представити у вигляді

$$\omega = \omega_{0, \text{ИД}} - \Delta\omega,$$

де

$$\omega_{0, \text{ИД}} = U_{\text{я}} / k_E \Phi \quad (2.5)$$

– кутова швидкість ідеального холостого ходу (при $M_{\text{ЕМ}} = 0$);

$$\Delta\omega = \frac{(R_{\text{я}} + R_{\text{д}})}{k_M k_E \Phi^2} M_{\text{ЕМ}} \quad \text{– зменшення кутової швидкості, обумовлене}$$

навантаженням на валу двигуна і пропорційне опорю якорного кола.

Сімейство механічних характеристик при номінальній напрузі на якорі і потоці збудження і різних додаткових опорах у колі якоря зображене на рис.2.3.

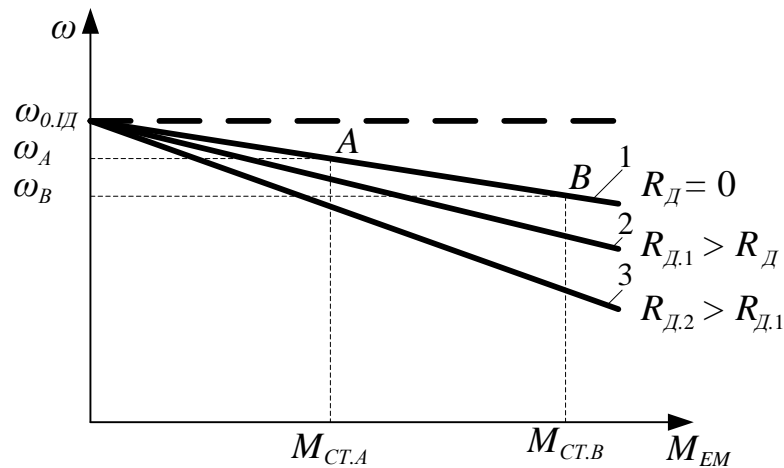


Рис.2.3. Механічні характеристики електродвигуна постійного струму

Механічні характеристики двигунів прийнято оцінювати за трьома показниками: стійкості, жорсткості і лінійності.

Природна механічна характеристика, відповідна (2.4) при $R_{\text{д}} = 0$, зображена прямою лінією 1. Механічна характеристика лінійна; невелике відхилення від лінійного закону може бути викликане

потокм якоря, створюваним струмом якоря і що приводить до зміни результуючого потоку Φ . Ця характеристика жорстка, оскільки при зміні моменту навантаження і відповідно швидкості потік збудження не змінюється. Жорсткість характеристики зменшується при введенні додаткового опору в ланцюг якоря (прямі лінії 2 і 3 – *штучні* реостатні характеристики). Характеристики стійкі, тобто двигун автоматично повертається в початкову точку характеристики після зняття збурення. Формальною ознакою стійкості є знак похідної $d\omega/dM_{EM}$, на стійкій ділянці характеристики похідна має бути негативною.

Збільшення статичного моменту опору на валу двигуна до зменшення кутової швидкості і ЕДС якоря. При цьому струм якоря, вираз для якого можна записати на підставі (2.3)

$$I_{я} = \frac{U_{я} - E_{я}}{R_{я} - R_{д}} = \frac{U_{я} - k_E \omega \Phi}{R_{я} - R_{д}} \quad (2.6)$$

зростає. Відповідно росте електромагнітний момент.

Регулювання швидкості. Кутову швидкість двигуна при незмінному моменті опору можна регулювати (див. (2.4)) трьома способами:

якірним – зміною напруги на обмотці якоря $U_{я}$;

полюсним – зміною магнітного потоку збудження Φ ;

реостатним – зміною додаткового опору $R_{д}$ в ланцюзі якоря.

При *якірному* керуванні можливі два основні види керування:

безперервне – зміною в часі амплітуди напруги;

імпульсне – зміною часу, протягом якого до двигуна підводиться номінальна напруга.

Полюсне керування застосовується набагато рідше якірного, оскільки регульовальні характеристики виходять нелінійними і коло керування володіє значною індуктивністю, що може негативно позначитися на швидкодії.

Перевагою полюсного керування є значно менший струм збудження в порівнянні із струмом якоря, і відповідно менша потужність керування.

При *реостатному* способі через реостати R_D (див. рис.2.2) повинен тривало пропускатися значний струм, що викликає великі втрати потужності. Спосіб не забезпечує широкого діапазону регулювання швидкості, він неекономічний і в системах автоматичного керування застосовується у край рідко.

Пуск. Пуск двигуна постійного струму ускладнюється тим, що при $\omega = 0$ ЕРС $E_A = 0$ і пусковий струм якоря $I_{Япуск} = U_A/R_A$ може у 10 – 20 разів перевищувати номінальний струм, що небезпечно як для двигуна (посилення іскріння, динамічні перевантаження), так і для джерела живлення.

Тому найважливішими показниками пускового режиму є кратність пускового струму $k_{I.Пуск} = I_{Пуск}/I_{Ном.к}$ і кратність пускового моменту $k_{M.Пуск} = M_{Пуск}/M_{Ном.}$. При пуску необхідно забезпечити необхідну кратність пускового моменту при можливо меншій кратності пускового струму.

Прямий пуск застосовують зазвичай при кратності пускового струму $k_{I.Пуск} < 6$. При більшому значенні $k_{I.Пуск}$ застосовують способи пуску, що забезпечують зниження струму $I_{Япуск}$ або за рахунок подачі зниженої напруги на обмотку якоря, або за рахунок введення додаткового опору в ланцюг якоря.

Реверсування. Реверсування двигуна здійснюється або зміною полярності напруги на обмотці якоря, або на обмотці збудження. У обох випадках змінюється знак моменту двигуна M_{EM} і відповідно напрям обертання ротора.

Гальмування. У двигунів незалежного збудження можливі три гальмівні режими:

рекуперативне гальмування – двигуна в режим генератора, що працює паралельно з мережею

гальмування противовключенням – за рахунок зміни напрямку струму якоря або потоку збудження;

динамічне – двигуна в режим автономного генератора.

У двигунів виконавчих пристроїв застосовується в основному гальмування противовключенням або динамічне.

2.6. Безперервний спосіб регулювання швидкості виконавчих двигунів постійного струму

Якірний безперервний спосіб керування. Магнітний потік створюється струмом, що протікає по обмотці збудження головних полюсів (рис. 2.6, *а*), або постійними магнітами (рис. 2.6, *б*).

У першому випадку обмотка збудження постійно підключається до незалежного джерела живлення з напругою U , рівною номінальному для двигуна ($U = \text{const}$, $\Phi = \text{const}$). Кутова швидкість ротора регулюється зміною напруги керування $U_K = U_{\text{Я}} = \text{var}$ на обмотці якоря.

Аналіз почнемо з отримання рівнянь механічних і регулювальних характеристик. Ці рівняння прийнято розглядати у відносних одиницях:

коефіцієнт сигналу керування (відносна напруга керування):

$$\alpha = U_{\text{Я}}/U_{\text{Я.Ном}};$$

відносна кутова швидкість:

$$\bar{\omega} = \omega/\omega_{0.ИД};$$

відносний момент:

$$\bar{M} = M_{EM}/M_{\text{Пуск}}.$$

Тут $\omega_{0.ИД}$ – кутова швидкість ідеального х.х. при $\alpha = 1$; $M_{\text{Пуск}}$ – пусковий момент при $\alpha = 1$.

Для виконавчого двигуна з якірним керуванням при довільному α рівняння (2.4) $\omega = \frac{U_{Я}}{k_E \Phi} - \frac{(R_{Я} + R_{Д})}{k_M k_E \Phi^2} M_{EM}$ з урахуванням (2.5) $\omega_{0,ИД} = U_{Я} / k_E \Phi$ при $R_{Д} = 0$ набуває вигляду

$$\bar{\omega} = \alpha - \bar{M}. \quad (2.7)$$

При постійному коефіцієнті сигналу α вираз (2.7) є рівнянням механічної характеристики $\bar{\omega} = f(\bar{M})$ (рис. 2.7, а) виконавчого двигуна з якірним керуванням, а при постійному моменті \bar{M} – рівнянням регулювальної характеристики $\bar{\omega} = f(\alpha)$ (рис. 2.7, б). З (2.7) витікає, що механічні і регулювальні характеристики при якірному управлінні лінійні (рис. 2.7).

Механічні характеристики (рис. 2.7, а) забезпечують стійкість роботи двигуна при якірному керуванні у всьому діапазоні кутових швидкостей $\bar{\omega} = 0 - 1$. Жорсткість механічних характеристик залишається незмінною при будь-якому коефіцієнті сигналу α . Значення пускового моменту у відносних одиницях дорівнює коефіцієнту сигналу керування: $\bar{M}_{Пуск.а} = \alpha$, тобто пусковий момент прямо пропорційний напрузі керування. Прямо пропорційна напрузі керування і швидкість холостого ходу: $\bar{\omega}_{0,а} = \alpha$.

При якірному керуванні потужність керування, споживана якорем, складає 80–95% від всієї споживаної потужності (менші значення відносяться до двигунів меншої потужності). Значна потужність керування – недолік якірного способу, оскільки виникає необхідність в могутніх джерелах сигналу керування (електронних, магнітних підсилювачах і так далі).

2.7. Динамічні характеристики

Динамічними характеристиками є часові залежності і показники, що визначають якість роботи виконавчих двигунів в перехідних режимах: при пуску, гальмуванні, реверсуванні і регулюванні швидкості.

До найважливіших динамічних показників належить швидкодія – здатність розвивати задану кутову швидкість ротора з мінімальним запізнюванням в часі по відношенню до відповідної зміни електричного сигналу.

2.7.1. Динамічні характеристики електродвигуна постійного струму

з незалежним збудженням

Передаточна функція двигуна постійного струму незалежного збудження при керуванні напругою на затискачах якоря.

Нехтуючи дією реакції якоря і взаємоіндукцією і вважаючи, що магнітний ланцюг машини ненасичений, динамічні властивості двигуна постійного струму незалежного збудження визначаються електромагнітними перехідними процесами в якірному колі і механічними перехідними процесами мас, що обертаються. Перехідні процеси в двигуні характеризуються системою рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{я}} &= R_{\text{я}} I_{\text{я}} + L_{\text{я}} \frac{dI_{\text{я}}}{dt} + E; E = k_E \Phi \omega; \\ M_{\text{дв}} - M_{\text{н}} &= J \frac{d\omega}{dt}; M_{\text{дв}} = k_M \Phi I_{\text{я}}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де $M_{\text{дв}}$ – обертаючий момент електродвигуна; $M_{\text{н}}$ – момент навантаження;

$U_{\text{я}}$ – напруга на затискачах якоря; $I_{\text{я}}$ – струм в колі якоря; E – ЕРС якорю (проти-ЕРС двигуна); $R_{\text{я}}, L_{\text{я}}$ – відповідно опір і індуктивність якірному кола двигуна;

$$R_{\text{я}} \approx \frac{0,5(1 - \eta_{\text{НОМ}}) \cdot U_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ}}};$$

$\eta_{\text{НОМ}}, U_{\text{НОМ}}, I_{\text{НОМ}}$ – номінальні ККД, напруга і струм двигуна;

$$L_{\text{я}} \approx c \frac{U_{\text{НОМ}}}{2p_{\text{дв}} n_{\text{НОМ}} I_{\text{НОМ}}},$$

$c = 6 \dots 8$ – коефіцієнт (менше значення c для двигунів малої потужності, більше – для двигунів великої потужності); $p_{дв}$ – число пар полюсів двигуна.

Для сталого режиму двигуна, коли всі відхилення змінних рівні нулю, рівняння статики будуть:

$$\left. \begin{aligned} U_{\beta 0} &= R_{\beta} I_{\beta 0} + E_0; E_0 = C_A \Phi \omega_0; \\ M_{\dot{A}A0} - M_{f 0} &= 0; M_{\dot{A}A0} = C_I \Phi I_{\beta 0}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

З рівнянь (3) визначаємо координати сталого режиму двигуна

$$M_{\dot{A}A0} = M_{f 0}; I_{\beta 0} = \frac{M_{\dot{A}A0}}{C_I \Phi}; E_0 = U_{\beta 0} - R_{\beta} I_{\beta 0}; \omega_0 = \frac{E_0}{C_A \Phi}.$$

Значення $k_A = C_A \Phi$ і $k_M = C_M \Phi$ є постійними величинами і визначаються номінальними даними двигуна:

$$k_A = \frac{U_{\dot{m}} - R_{\beta} I_{\dot{m}}}{\omega_{\dot{m}}} = \frac{30(U_{\dot{m}} - R_{\beta} I_{\dot{m}})}{\pi \cdot n_{\dot{m}}};$$

$$k_M = \frac{M_{\dot{m}}}{I_{\dot{m}}} = \frac{1000 P_{\dot{m}}}{\omega_{\dot{m}} I_{\dot{m}}} = 9550 \frac{P_{\dot{m}}}{n_{\dot{m}} I_{\dot{m}}}.$$

Вирішуючи спільно рівняння (3), отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{L_{\beta}}{R_{\beta}} \frac{J R_{\beta}}{k_A k_I} s^2 \Delta \omega(s) + \frac{J R_{\beta}}{k_A k_I} s \Delta \omega(s) + \Delta \omega(s) &= \\ = \frac{1}{k_E} \Delta U_{\beta}(s) - \frac{R_{\beta}}{k_A k_I} (1 + \frac{L_{\beta}}{R_{\beta}} s) \Delta M_H(s) \end{aligned}$$

або

$$(T_{\beta} T_I s^2 + T_I s + 1) \Delta \omega(s) = k_1 \Delta U(s) - k_2 (1 + T_{\beta} s) \Delta M_H(s), \quad (4)$$

де $T_{\beta} = \frac{L_{\beta}}{R_{\beta}}$ і $T_M = \frac{J R_{\beta}}{k_E k_M}$ – відповідно електромагнітна та

електромеханічна постійні часу двигуна, с.; $k_1 = \frac{1}{k_E}$ – коефіцієнт

посилення двигуна, 1/(В с); $k_2 = \frac{R_{\beta}}{k_E k_M}$ – коефіцієнт пропорційності,

1/(сНм).

Якщо на валу двигуна діє незмінне навантаження $M_f = const$, то на всіх режимах $\Delta M_H = 0$. При цьому рівняння двигуна

$$\frac{L_\beta}{R_\beta} \frac{JR_\beta}{k_A k_i} s^2 \Delta \omega(s) + \frac{JR_\beta}{k_A k_i} s \Delta \omega(s) + \Delta \omega(s) = k_1 \Delta U_\beta(s). \quad (5)$$

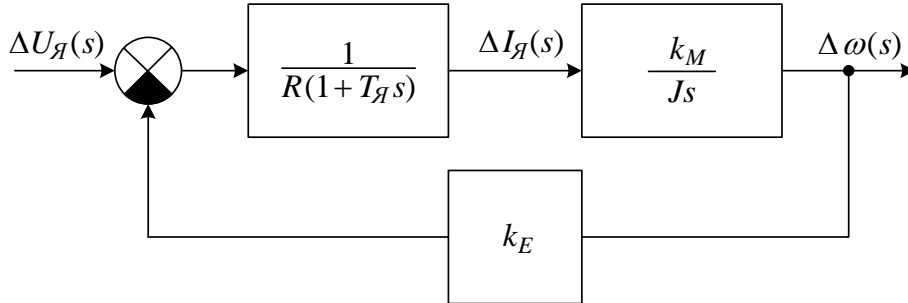


Рис. 1. Структурна математична модель двигуна постійного струму, керованого напругою на якорі

Якщо як вихідна координата двигуна розглядається кут повороту валу, то враховуючи $\Delta \omega(s) = s \Delta \theta(s)$, отримаємо вираз передаточної функції двигуна у виді:

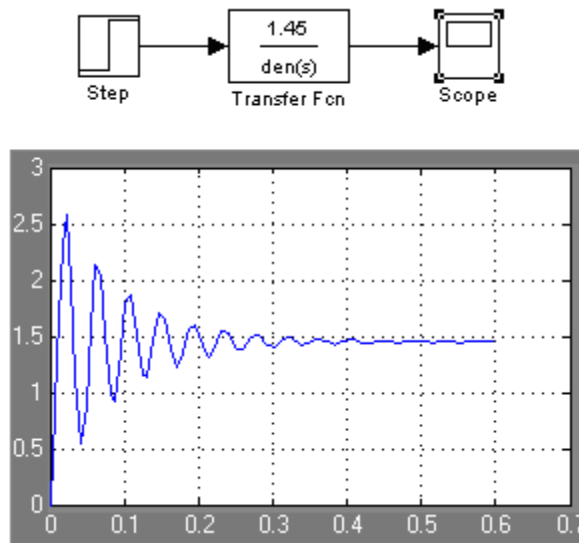
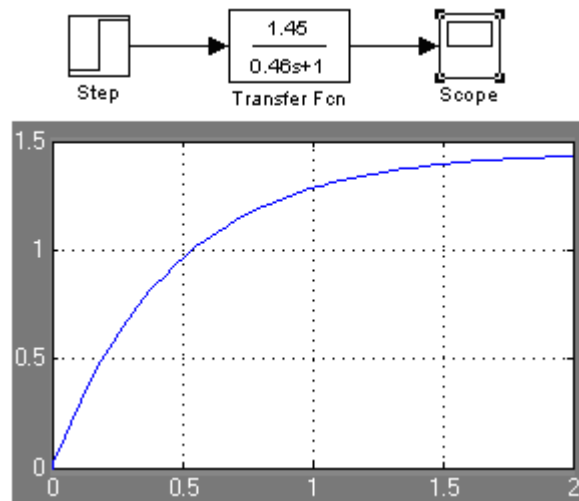
$$W_{\theta/U}(s) = \frac{\Delta \theta(s)}{\Delta U(s)} = \frac{k_1}{s(T_\beta T_i s^2 + T_i s + 1)}. \quad (9)$$

Для автоматичних систем з малопотужними виконавчими двигунами постійного струму електромагнітна постійна часу $T_\beta \ll T_i$, тому в розрахунках нехтують T_β і передаточні функції виконавчих двигунів можуть бути представлені таким чином:

$$W_{\omega/U}(s) = \frac{\Delta \omega(s)}{\Delta U(s)} = \frac{k_1}{T_i s + 1}. \quad (10)$$

$$W_{\theta/U}(s) = \frac{\Delta \theta(s)}{\Delta U(s)} = \frac{k_1}{s(T_i s + 1)}. \quad (11)$$

Перехідна характеристика електродвигуна при $T_\beta > 4T_M$



$$T_{\text{Я}} = 0,46 \cdot 10^{-2} \text{ c.}; \quad T_{\text{Я}} > 4T_{\text{М}}$$

$$T_{\text{М}} = 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ c.}$$

Перехідна характеристика електродвигуна

$$\text{при } T_{\text{М}} = T_{\text{Я}} = 0,46 \cdot 10^{-2} \text{ c.}; \quad \xi = 0,707$$

Тема лекційного заняття 3. Електродвигунові виконавчі механізми: виконавчі механізми з електродвигунами змінного струму: асинхронні двигуни; статичні і динамічні характеристики.

Лекція №3

Тема 2. Електричні виконавчі пристрої

2.8. Виконавчі механізми на базі асинхронного електроприводу

Асинхронною машиною називається машина змінного струму, у якої кутова швидкість ротора не дорівнює кутовій швидкості магнітного поля статора. Кутова швидкість ротора залежить від навантаження; в режимі двигуна навантаженням є механічний момент опору на валу машини.

Класифікація основних типів асинхронних двигунів приведена на рис.3.1.

У асинхронних машин великої, середньої і малої потужності на статорі практично завжди розташована трифазна обмотка, тобто обмотка, що складається з трьох окремих електричних ланцюгів, зрушених в просторі на 120° ; асинхронні мікромашини випускаються в основному з двофазною обмоткою статора із зсувом обмоток фаз на 90° .

3.1. Конструкція, принцип роботи і характеристики трифазного асинхронного двигуна

Конструкція. Магнітопроводи статора і ротора трифазної машини зазвичай неявнополюсные (рис.3.2). Трифазна обмотка статора зазвичай виконується розподіленою. На зовнішню панель виводів або виходять всі шість виводів, або обмотки фаз з'єднуються усередині машини за схемою «зірка» або «трикутник» і на панель виходять три виводи.

Обмотка статора призначена для створення обертаючого магнітного поля машини. Обмотка ротора типу «білячого колеса» складається з неізолюваних алюмінієвих або мідних стрижнів, розташованих в пазах і замкнених накоротко з торців двома кільцями.

Принцип дії. Принцип роботи асинхронних машин пов'язаний з поняттям обертаючого магнітного поля. Обмотка, що створює

обертаюче магнітне поле, є N -фазною системою, тобто складається з N обмоток, які зрушені один відносно одного в просторі і по яких протікають струми, зрушені в часі. Кожна з обмоток фаз створює пульсуючий потік (нерухомий в просторі і такий, що змінюється в часі), зрушений відносно інших в просторі і в часі.

Електромагнітний момент. Електромагнітний момент, що виникає в результаті взаємодії обертаючого магнітного поля статора, із струмами, наведеними цим полем в роторі, може бути визначено з виразу

$$M_{EM} = k \Phi_M I_2 \cos \varphi_2, \quad (3.4)$$

де k – конструктивний коефіцієнт, залежний від числа фаз, числа полюсів і числа витків у фазі обмотки статора.

Як видно з (3.4), електромагнітний момент прямо пропорційний основному магнітному потоку Φ_M і активною складовою струму ротора $I_2 \cos \varphi_2$. При цьому основний потік визначається напругою живлення і не залежить від навантаження, а струм ротора I_2 і його фаза відносно ЕРС φ_2 залежать від ковзання і відповідно від навантаження:

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{r_2}{s}\right)^2 + x_2^2}}; \quad (3.5)$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (sx_2)^2}}. \quad (3.6)$$

У цих виразах r_2 і x_2 – активний і індуктивний опори фази ротора.

Формула моменту (3.4) отримана для режиму двигуна, але вона справедлива і для інших режимів з урахуванням знаку і діапазону значень ковзання s .

Механічні характеристики. Рівнянням природної механічної характеристики асинхронного двигуна є вираз (3.4) із заміною

ковзання s на кутову швидкість ω_2 по (3.3) при $U_1 = \text{const}$. Графік характеристики зображений на рис. 3.3.

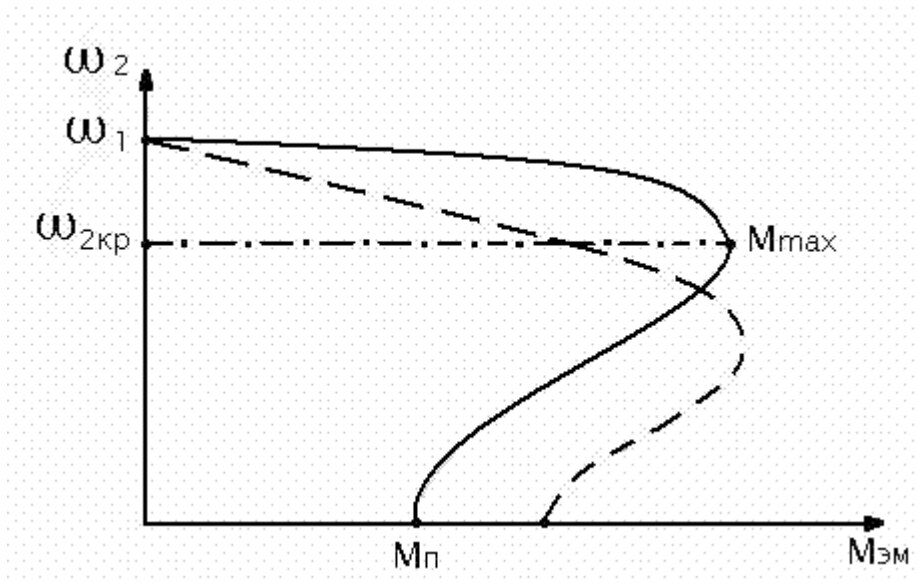


Рис.3.3

Пуск. Умовою пуску двигуна є нерівність $M_{п} > M_{ст}$; якщо ця умова виконується, то при включенні двигуна в мережу ротор приходить в рух і розгониться до сталого режиму. При пуску ($\omega_2 = 0$, $s = 1$) струм в роторі досягає найбільшого значення (див. (3.5)). Відповідно великі пускові струми і в обмотці статора.

Реверсування двигуна. Зміна напрямку обертання ротора здійснюється зміною напрямку обертання поля статора. Для цього досить поміняти місцями виводи двох будь-яких фаз.

Гальмування двигуна. Для швидкої зупинки двигуна можуть застосовуватися різні способи електричного гальмування: рекуперативне, гальмування противключенням і динамічне гальмування.

Рекуперативне гальмування відбувається при роботі асинхронної машини в режимі генератора паралельно з мережею, тобто при $\omega_2 > \omega_1$. На практиці цей режим зустрічається рідко, в основному при переході з вищих кутових швидкостей на нижчі,

наприклад, при зміні числа пар полюсів або частоти напруги живлення.

Гальмування противключенням відбувається у тому випадку, коли магнітне поле статора обертається в одному напрямі, а ротор в протилежному. При цьому кутова швидкість ротора і створюваний двигуном момент мають протилежні знаки.

Динамічне гальмування здійснюється відключенням обмотки статора від мережі змінного струму і підключенням до мережі постійного струму. Виникає нерухоме поле статора, яке наводить ЕРС і струми в роторі, що обертається. В результаті взаємодії цих струмів з полем статора створюється гальмівний момент.

Тема лекційного заняття 4. Електродвигунові виконавчі механізми: синхронні, вентильні та крокові електродвигуни: будова; статичні й динамічні характеристики.

Тема лекційного заняття 5. Електричні виконавчі механізми: ходові електромагніти; електромагнітні виконавчі механізми; виконавчі механізми з електромагнітним клапаном; виконавчі механізми з електромагнітною муфтою: будова; статичні і динамічні характеристики.

Запитання до заліку

1. Призначення, структура і типи виконавчих пристроїв (механізмів).
2. Електродвигунові ВМ постійного струму. Способи управління! їхньою частотою обертання. Статичні і швидкісні характеристики.
3. Вібраційна лінеаризація ВМ з електромагнітними муфтами.
4. Електродвигунові ВМ змінного струму. Способи управління їхньою частотою обертання. Статичні і швидкісні характеристики.
5. Ізодромний електропривод. Приклади, характеристики.
6. Елементи управління пневматичних ВМ. Приклади, характеристики.
7. Елементи управління гідравлічних ВМ. Приклади, характеристики.

8. Елементи управління електрогідравлічних ВМ. Приклади, характеристики.

9. Гідравлічні ВМ із золотниковим елементом управління. Статичні і динамічні характеристики.

10. Гідравлічні ВМ з елементом управління, який має релеїїну характеристику. Статичні і динамічні характеристики ВМ.

ПАКЕТ ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ Варіант №2

100%	<p>Питання 1. Якщо критичний момент електродвигуна змінного струму $M_{kp} \approx \frac{m \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot x_k}$, $\varepsilon = \frac{r_1}{\sqrt{r_1^2 + x_k^2}}$,</p> <p>$S_{kp} = \frac{r_1'}{x_k}$, то обертаючий момент буде</p>
1.	$M = \frac{2 \cdot M_{kp} \cdot (1 + \varepsilon)}{\frac{S}{S_{kp}} + \frac{S_{kp}}{S} + 2 \cdot \varepsilon}$
2.	$M = \frac{M_{kp}}{S + S_{kp} + 2 \cdot \varepsilon}$
3.	$M = \frac{M_{kp} \cdot (1 + \varepsilon)}{\frac{S}{S_{kp}} + \frac{S_{kp}}{S} + 2 \cdot \varepsilon}$
4.	$M = \frac{2 \cdot M_{kp} \cdot (1 + \varepsilon)}{S + S_{kp} + 2 \cdot \varepsilon}$

100%	<p>Питання 2. Динаміка асинхронного електродвигуна, якщо вихідним параметром є кутова швидкість обертання його валу, описується передаточною функцією</p>
1.	$W_\varphi(s) = \frac{k}{s \cdot (T_M \cdot s + 1)}$
2.	$W_\varphi(s) = \frac{k}{s}$
3.	$W_\omega(s) = \frac{k}{T_M \cdot s + 1}$
4.	$W_\omega(s) = T_M \cdot s + 1$

100%	<p>Питання 3. За динамічними властивостями кроковий електродвигун є</p>
1.	безінерційною ланкою
2.	інерційною ланкою першого порядку
3.	коливальною ланкою
4.	інтегруючою ланкою з передаточною $W_{BM}(s) = \frac{\varphi_{BM}(s)}{U_{BM}(s)} = \frac{1}{T_{BM} \cdot s}$

100%	<p>Питання 4. Статичні ВМ за динамічними властивостями є</p>
1.	інтегруючими ланками з передаточною функцією $W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{s} = \frac{1}{T_{BM} \cdot s}$
2.	безінерційними ланками з передаточною функцією $W_{BM}(s) = k_{BM}$
3.	інерційними ланками з передаточною функцією $W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{T_{BM} \cdot s + 1}$
4.	запізнюючими ланками з передаточною функцією $W_{BM}(s) = k_{BM} \cdot e^{-\tau \cdot s}$

100%	<p>Питання 5. Для забезпечення чутливості магнітного підсилювача до полярності вхідного сигналу</p>
------	---

	застосовується
1.	Ш-подібне або П-подібне осердя
2.	Ш-подібне осердя
3.	зворотний зв'язок
4.	обмотка зміщення W_{3M}

100%	Питання 6. Масло гідроциліндр двохсторонньої дії з однобоким штоком. Подача рідини в обидві порожнини однакова. Швидкість штоку при надходженні рідини в штокову порожнину буде більшою за швидкість при надходженні рідини в поршневу порожнину в відношенні
1.	$\frac{D^2}{D^2 - d^2}$
2.	$\frac{D^2 - d^2}{D^2}$
3.	$D^2 - d^2$
4.	$\frac{d^2}{d^2 + D^2}$

100%	Питання 7. Кутова швидкість радіального гідромотора визначається за формулою
1.	$\omega = 2 \cdot Q \cdot e \cdot \pi \cdot d^2 \cdot z$
2.	$\omega = \frac{2 \cdot Q}{e \cdot \pi \cdot d^2 \cdot z}$
3.	$\omega = \frac{\pi \cdot e \cdot d^2 \cdot z}{2 \cdot Q}$
4.	$\omega = 2 \cdot Q + \pi \cdot e \cdot \pi \cdot d^2 \cdot z$

100%	Питання 8. Кутова швидкість вихідного валу шибєрного двигуна з однією пластиною визначається по формулі
1.	$\omega = \frac{8 \cdot Q}{(D^2 - d^2) \cdot E}$
2.	$\omega = \frac{8 \cdot Q}{(D^2 + d^2) \cdot E}$
3.	$\omega = 8 \cdot Q + (D^2 - d^2) \cdot E$
4.	$\omega = 8 \cdot Q + (D^2 + d^2) \cdot E$

50%	Питання 9. Регулюючий орган здійснює
1.	Перетворення регулюючої дії.
2.	Обробку вимірювальної інформації.
3.	Формування закону управління.
4.	Зміну кількості енергії або робочої речовини, що надходить в об'єкт управління.

50%	Питання 10. За видом споживаної енергії виконавчі механізми можуть бути: 1. електричні; 2. гідравлічні; 3. пневматичні; 4. електрогідравлічні; 5. електропневматичні; 6. іонні; 7. фотонні
1.	4, 5, 6, 7.
2.	1, 2, 3, 4, 5.
3.	1, 2, 6, 7.
4.	2, 3, 4, 5, 6.

50%	Питання 11. Електромагнітні виконавчі механізми - це: 1. ВМ однообертові; 2. ВМ багатообертові; 3. ВМ з електромагнітним клапаном; 4. ВМ з електромагнітною муфтою; 5. ВМ з кроковими електродвигунами
1.	1, 2, 3, 4.
2.	2, 3, 4, 5.
3.	3, 4.
4.	3, 4, 5.

50%	Питання 12. Сукупність елемента управління і силового елемента – це: 1. автоматична система; 2. автоматичний управляючий пристрій; 3. електропривід; 4. гідропривід; 5. пневмопривід
1.	1, 2, 3, 4.
2.	3, 4, 5.
2.	2, 3, 4, 5.
4.	1, 3, 4, 5.

50%	Питання 13. Величина люфту не повинна перевищувати (мм):
1.	0,5...0,6.

2.	0,5...0,7.
3.	0,2...0,5.
4.	0,9...1,0.

50%	Питання 14. ВМ з електродвигунами змінного струму можуть бути: 1. однофазні; 2. двофазні; 3. трифазні; 4. двофазні з паралельним збудженням; 5. чотирифазні; 6. трифазні з послідовним збудженням
1.	1, 3, 5, 6.
2.	1, 2, 5, 6.
3.	2, 3, 4, 5.
4.	1, 2, 3.

50%	Питання 15. Електродвигуни змінного струму можуть бути: 1. асинхронні; 2. синхронні; 3. послідовного збудження; 4. змішаного збудження; 5. з короткозамкненим ротором; 6. з порожнім феромагнітним ротором; 7. з порожнім немагнітним ротором
1.	1, 2, 3, 5, 6
2.	2, 3, 4, 5, 7
3.	4, 5, 6, 7
4.	1, 2, 5, 6, 7

50%	Питання 16. Основні параметри поршневих гідроциліндрів – це: 1. рухаюче зусилля; 2. швидкість поршня; 3. діаметр штока; 4. діаметр поршня; 5. діаметр циліндра
1.	1, 3, 4, 5
2.	2, 3, 4, 5
3.	1, 2, 4, 5
4.	1, 2

50%	Питання 17. Гідромотори підрозділяються на: 1. радіальні; 2. аксіальні; 3. лопатеві; 4. шестерьонні; 5. планетарні; 6. турбінні
1.	1, 2, 3, 5, 6
2.	1, 3, 4, 5, 6
3.	1, 2, 3, 4, 5
4.	2, 3, 4, 5, 6

50%	Питання 18. Пневматичні виконавчі механізми можуть бути: 1. мембранні; 2. поршневі; 3. роторні; 4. лопатеві; 5. планетарні
1.	1, 2, 3, 5
2.	1, 2, 4, 5
3.	1, 2, 3
4.	3, 4, 5

75%	Питання 19. За статичною характеристикою ВМ поділяються на: 1. статичні ВМ; 2. астатичні ВМ; 3. позиційні ВМ; 4. інерційні ВМ; 5. запізнюючі
1.	1, 3, 4, 5.
2.	2, 3, 4, 5.
3.	1, 2, 3.
4.	3, 4, 5.

75%	Питання 20. Електродвигунові ВМ вибирають в залежності від величини:
1.	Реактивного моменту на регулюючому органі.
2.	Величини обертаючого моменту, необхідного для обертання регулюючого органу.
3.	Моменту від сил тертя в опорах регулюючого органу.
4.	Величини моменту інерції ротору.

75%	Питання 21. Швидкісна характеристика електродвигуна постійного струму паралельного збудження:
1.	$I = \frac{U_{ж}}{R} - \frac{C_E \cdot \Phi}{R} \cdot \omega.$
2.	$I = \frac{U_{ж} \cdot k_M}{R}.$
3.	$I = \frac{U_{ж} \cdot k_M}{R} - \frac{k_E \cdot k_M}{R} \cdot \omega.$
4.	$I = \frac{k_E \cdot k_M}{R} \cdot \omega.$

75%	Питання 22. Асинхронний двофазний електродвигун за своїми динамічними властивостями є:
1.	Безінерційна ланка.
2.	Коливальна ланка.
3.	Інтегруюча ланка, коли кут повороту валу є вихідною величиною.
4.	запізнююча.

75%	Питання 23. Електромагнітні муфти є з'єднувальними ланками між
1.	приводом і робочим механізмом
2.	приводом і порівнюючим елементом

3.	керуючим елементом і силовим елементом
4.	робочим елементом і порівнюючим елементом
75%	Питання 24. Зворотний зв'язок в магнітних підсилювачах використовується для
1.	зменшення коефіцієнта підсилення МП
2.	збільшення коефіцієнта підсилення МП
3.	забезпечення чутливості МП до полярності
4.	створення взаємокомпенсуючих змінних магнітних потоків
75%	Питання 25. Гідроциліндр двосторонньої дії – такий, в якому рух вихідного елемента під дією тиску робочої рідини здійснюється
1.	у двох протилежних напрямках
2.	тільки в одному напрямку
3.	назустріч один одному
4.	обертаючий рух
75%	Питання 26. Телескопічні гідроциліндри – такі, у яких повний хід вихідного елемента дорівнює
1.	оберту робочої ланки
2.	оберту усіх робочих ланок
3.	сумі ходів усіх робочих ланок
4.	ходу робочої ланки
75%	Питання 27. Об'ємні гідродвигуни за характером руху вихідного елемента поділяються на: 1. гідроциліндри; 2. обертальні гідродвигуни; 3. гідромотори; 4. гідромуфти; 5. гідроклапани
1.	1, 2, 4, 5
2.	2, 3, 4, 5
3.	1, 2, 3, 5
4.	1, 2, 3
75%	Питання 28. Дросельне регулювання швидкості руху штока гідроциліндра здійснюється: 1. зміною гідравлічного опору лінії надходження рідини; 2. встановленням дроселя на лінії живлення гідроциліндра; 3. встановленням дроселя в зливній магістралі; 4. використанням насоса зі змінною продуктивністю
1.	1, 2, 4
2.	1, 3, 4
3.	2, 3, 4
4.	1, 2, 3
100%	Питання 29. Асинхронний двофазний електродвигун за своїми динамічними властивостями є:
1.	Інерційна ланка 1-го порядку, коли частота обертання вала є вихідною величиною.
2.	Колівальна ланка.
3.	Безінерційна ланка.
4.	Запізнююча ланка.
100%	Питання 30. Динамічні характеристики електродвигуна постійного струму при $M_B = 0$ описується диференціальним рівнянням $(T_I \cdot T_B \cdot s^2 + T_I \cdot s + 1) \cdot \omega(s) = k \cdot U_{\mathcal{E}}(s)$. При яких значеннях постійної часу $T_{\mathcal{Я}}$ його характеристики будуть описані інерційною ланкою 1-го порядку з передаточною функцією $W(s) = \frac{k}{T_M \cdot s + 1}$
1.	$T_{\mathcal{Я}} \ll T_M$
2.	$T_{\mathcal{Я}} \gg T_M$
3.	$T_{\mathcal{Я}} = \infty$
4.	$T_{\mathcal{Я}} = T_M$

ЗАВДАННЯ на самостійну роботу

Завдання 1. 1. Визначити значення зовнішніх опорів r_3 у колі статора, необхідні для знижки пускового моменту в два рази, тобто до $1,4m_H$.

2. Розрахувати й побудувати природну механічну характеристику електродвигуна.

3. Розрахувати й побудувати штучну механічну характеристику електродвигуна при симетричному зовнішньому активному опорі r_3 у колі статора.

4. Розрахувати й побудувати механічну характеристику насоса в координатах обертаючого моменту двигуна.

5. Визначити точку спільної роботи електродвигуна і відцентрового насоса.

З'єднання обмоток статора у «зірку». Пуск здійснюється при зовнішньому активному опорі (рис. 1, *a*).

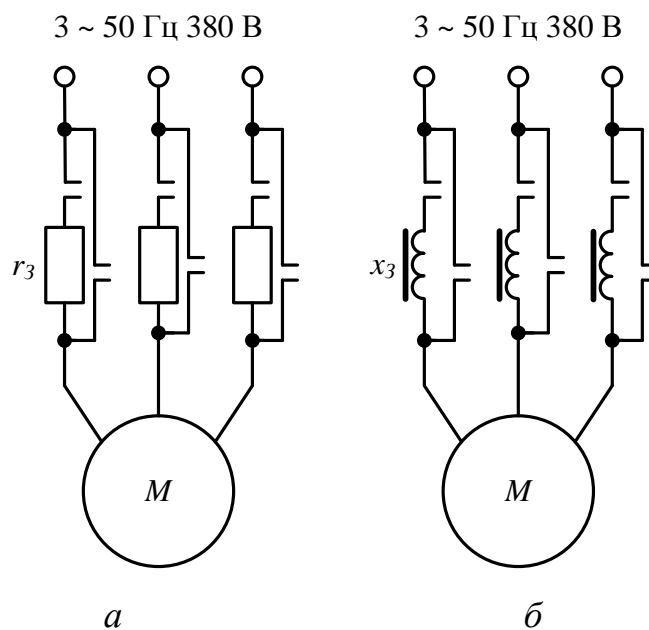


Рис. 1. Включення опорів в коло статора:

a – активного опору; *б* – реактивного опору.

Двигун обертає відцентровий насос з моментом опору, рівним 0,9 номінального обертаючого моменту двигуна, тобто коефіцієнт

$$k = \frac{M_{о.н}}{M_{об.н}} = 0,9.$$

Насос пускається при відкритій задвижці і має початковий пусковий момент опору, рівний 30% момента насоса при номінальній швидкості обертання, тобто

$$M_{о.поч} = 0,3M_{о.н}.$$

Вихідні дані для розрахунків щодо варіанту наведені у табл. 1.1.

1.1. Вихідні дані для розрахунків

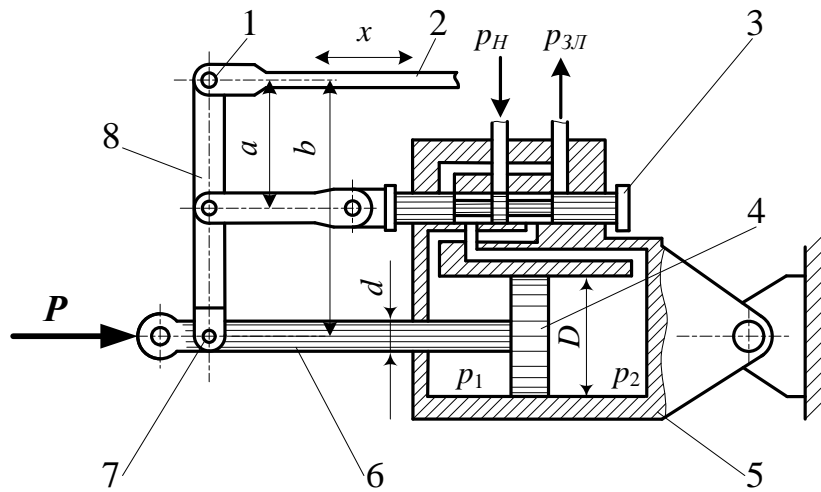
Варіант	Тип електродви- гуна	Вихідні дані								
		P_H , кВт	U_H , В	n_H , об/хв	η_H	$m_{МАКС}$	$m_{ПУСК}$	I_H , А	$I_{*ПУСК}$, А	$\cos\varphi_H$
1	4A80B2Y3	2,2	380	2850	0,83	2,6	2,1	4,7	6,5	0,87
2	4A90L2Y3	3,0	380	2840	0,845	2,5	2,1	6,1	6,5	0,88
3	4A100S2Y3	4,0	380	2880	0,865	2,5	2,1	7,8	7,5	0,89
4	4A100L2Y3	5,5	380	2880	0,875	2,5	2,0	10,5	7,5	0,91
5	4A112M2Y3	7,5	380	2900	0,875	2,8	2,0	14,9	7,5	0,88
6	4A132M2Y3	11,0	380	2900	0,88	2,8	1,7	21,2	7,5	0,90
7	4A160S2Y3	15,0	380	2940	0,88	2,2	1,4	28,5	7,0	0,91
8	4A160M2Y3	18,5	380	2940	0,885	2,2	1,4	34,5	7,0	0,92
9	4A180S2Y3	22,0	380	2945	0,885	2,5	1,4	41,6	7,5	0,91
10	4A180M2Y3	30,0	380	2945	0,905	2,5	1,4	56,0	7,5	0,90
11	AIP71B2	1,1	380	2805	0,79	2,2	2,1	2,6	6,0	0,84
12	AIP80A2	1,5	380	2850	0,82	2,6	2,2	3,6	6,5	0,85
13	AIP80B2	2,2	380	2850	0,83	2,6	2,1	4,8	6,4	0,87
14	AIP90L2	3,0	380	2850	0,845	2,2	2,0	6,1	7,0	0,88
15	AIP100S2	4,0	380	2850	0,87	2,2	2,0	7,8	7,5	0,88
16	AIP100L2	5,5	380	2850	0,88	2,2	2,0	10,5	7,5	0,89
17	AIP112M2	7,5	380	2895	0,875	2,2	2,0	14,8	7,5	0,88
18	AIP132M2	11,0	380	2910	0,88	2,2	1,6	21,4	7,5	0,90
19	AIP160S2	15,0	380	2910	0,90	2,7	1,8	28,6	7,0	0,89
20	AIP160M2	18,5	380	2910	0,905	2,7	2,0	34,7	7,0	0,90
21	AIP180S2	22,0	380	2920	0,905	2,7	2,0	41,7	7,0	0,89
22	AIP180M2	30,0	380	2925	0,915	3,0	2,2	56,2	7,5	0,90
23	AIP90L4	2,2	380	1395	0,81	2,4	2,2	3,7	6,5	0,81
24	AIP100S4	3,0	380	1410	0,82	2,2	2,2	4,8	7,0	0,83
25	AIP100L4	4,0	380	1410	0,85	2,4	2,0	5,3	6,0	0,84
26	AIP112M4	5,5	380	1430	0,855	2,2	2,1	7,8	7,0	0,86
27	AIP132S4	7,5	380	1440	0,875	2,5	2,0	13,4	7,5	0,86
28	AIP132M4	11,0	380	1445	0,875	2,7	2,0	17,2	7,5	0,87

Примітка. Для варіантів 1 – 22 синхронна частота обертання $n_0 = 3000$ об/хв; для варіантів 23 – 30 – $n_0 = 1500$ об/хв.

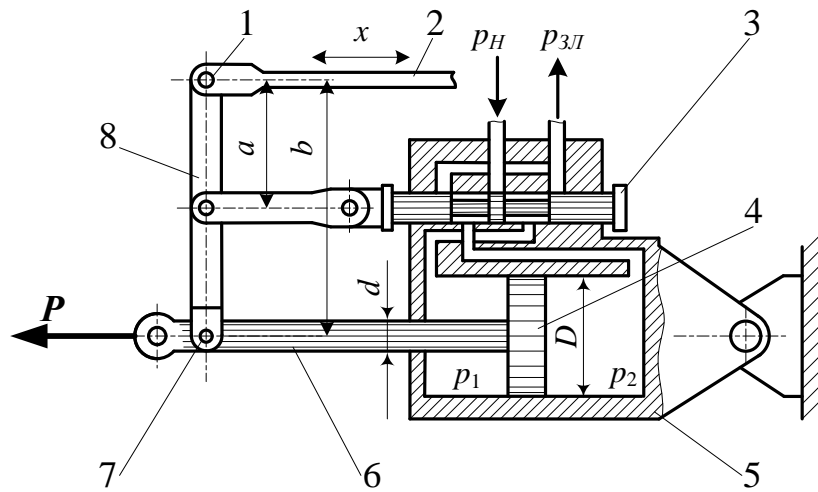
Завдання 2. Провести вибір гідроциліндра для проектних даних (див. табл.1.2). При виборі типу і марки гідроциліндра перш за все необхідно розрахувати його основні конструктивні параметри, зокрема внутрішній діаметр циліндра D і діаметр штока d .

1.2. Вихідні дані для розрахунків

Варіант	Принципова схема гідропідсилювача	Вихідні дані				
		P, Н	p_1 , МПа	p_2 , МПа	ψ	η_{MEH}
1	Схема а (рис. 2, а)	$4 \cdot 10^4$	14,0	0,3	1,33	0,93
2		$4,6 \cdot 10^4$	15,0	0,4	1,33	0,93
3		$5 \cdot 10^4$	16,0	0,5	1,33	0,93
4		$5,4 \cdot 10^4$	17,0	0,3	1,33	0,93
5		$6 \cdot 10^4$	18,0	0,4	1,33	0,93
6		$6,4 \cdot 10^4$	19,0	0,5	1,33	0,93
7		$7 \cdot 10^4$	20,0	0,3	1,33	0,94
8		$7,4 \cdot 10^4$	21,0	0,4	1,33	0,94
9		$8 \cdot 10^4$	22,0	0,5	1,33	0,94
10		$8,4 \cdot 10^4$	23,0	0,3	1,33	0,94
11		$9 \cdot 10^4$	24,0	0,4	1,33	0,94
12		$9,4 \cdot 10^4$	25,0	0,5	1,33	0,95
13		$10 \cdot 10^4$	26,0	0,5	1,33	0,95
14		$10,4 \cdot 10^4$	27,0	0,5	1,33	0,95
15	Схема б (рис. 2, б)	$4 \cdot 10^4$	14,0	0,3	1,33	0,95
16		$4,6 \cdot 10^4$	15,0	0,4	1,33	0,95
17		$5 \cdot 10^4$	16,0	0,5	1,33	0,95
18		$5,4 \cdot 10^4$	17,0	0,3	1,33	0,95
19		$6 \cdot 10^4$	18,0	0,4	1,33	0,95
20		$6,4 \cdot 10^4$	19,0	0,5	1,33	0,95
21		$7 \cdot 10^4$	20,0	0,3	1,33	0,95
22		$7,4 \cdot 10^4$	21,0	0,4	1,33	0,95
23		$8 \cdot 10^4$	22,0	0,5	1,33	0,96
24		$8,4 \cdot 10^4$	23,0	0,3	1,33	0,96
25		$9 \cdot 10^4$	24,0	0,4	1,33	0,97
26		$9,4 \cdot 10^4$	25,0	0,5	1,33	0,97
27		$10 \cdot 10^4$	26,0	0,5	1,33	0,97
28		$10,4 \cdot 10^4$	27,0	0,5	1,33	0,97



a



б

Рис. 2. Принципова схема гідропідсилювача золотникового типу із зворотним зв'язком:

a – шток працює на стиснення при виштовхуванні поршня ; *б* – шток працює на розтягування при втягуванні поршня; 1 – шарнір; 2 – тяга; 3 – золотник підсилювача; 4 – поршень; 5 – корпус силового циліндра; 6 – шток; 7 – шарнір; 8 – диференціальний важіль

НУБіП України

Ф–7.5–2.1.8–05

Національний університет біоресурсів і
природокористування України
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
ЗАНЯТЬ

для 6.050202-«АКІТ»
3 дисципліни
«Виконавчі пристрої систем керування»
Факультет **Енергетики і автоматики**
3 курс 6 семестр
2014/ 2015 навчальний рік

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан факультету

_____ І. П. Радько

доцент, ктн _____ І.Т.Цигульов
(вчене звання, ступінь, прізвище викладача)

число тижнів	19
лекцій	19 год
лабораторних занять	19год
самостійна робота під керівництвом викладача	52 год
залік	19 год
разом	6 год
	90 год

Тижні	Лекції	Кількість годин	Лабораторні (практичні) заняття	Кількість годин	Самостійна робота під керівництвом викладача	Кількість годин
1	Лекція №1 Вступ. Задачі й цілі дисципліни. Тема 1. Загальні зведення про виконавчі пристрої: основні поняття й визначення виконавчих пристроїв; регулюючі органи; класифікація та принципи побудови; характеристики; вимоги	2				
2	Лекція №2 Тема 2. Електродвигунові виконавчі механізми: виконавчі механізми з електродвигунами постійного струму: будова; схеми	2				

	збудження; статичні і динамічні характеристики					
3			<i>Практичне заняття №1</i> Розрахунок механічних характеристик асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором	2	Видача модульного завдання	10
4	Лекція №3 Тема 2 (продовж): виконавчі механізми з електродвигунами змінного струму: асинхронні двигуни; статичні і динамічні характеристики	2				
5			<i>Лабораторна робота №1</i> Дослідження часових характеристик електродвигунових виконавчих механізмів	2		
6	Лекція №4 Тема 2 (продовж): синхронні, вентильні та крокові електродвигуни: будова; статичні й динамічні характеристики	2				
7			<i>Практичне заняття №2</i> Розрахунок і вибір електродвигунових виконавчих механізмів	2		
8	Лекція №5 Тема 3. Електричні виконавчі механізми: ходові електромагніти; електромагнітні виконавчі механізми: виконавчі механізми з електромагнітним клапаном; виконавчі механізми з електромагнітною муфтою: будова; статичні і динамічні характеристики	2				
9	Модульний контроль (оцінка Модульного завдання і Модульне тестування)					2
10			<i>Лабораторна робота №2</i> Вивчення й дослідження статичних	2	Видача модульного завдання	9

			характеристик електромагнітних виконавчих механізмів			
11	Лекція №6 Тема 4. Гідравлічні і пневматичні виконавчі механізми: пневматичні виконавчі механізми: будова, принцип дії, статичні, динамічні та регулювальні характеристики	2				
12			<i>Практичне заняття №3</i> Вибір виконавчих механізмів та регулюючих органів	2		
13	Лекція №7 Тема 4. (продовж): гідравлічні виконавчі механізми: будова, принцип дії, статичні, динамічні та регулювальні характеристики	2				
14	Лекція №8 Тема 5. Гідравлічний привід: загальна характеристика приводу; структурна функціональна схема гідроприводу; класифікація і принцип роботи гідроприводу; переваги й недоліки гідроприводу	2				
15	Лекція №9 Тема 5. (продовж): гідравлічні та пневматичні підсилювачі; класифікація гідравлічних та пневматичних підсилювачів; характеристики гідравлічних та пневматичних підсилювачів	2				
16			<i>Практичне заняття №4</i> Гідравлічні слідкуючі приводи. Гідропідсилювачі	2		
17	Лекція №10 Тема 6. Обґрунтування вибору виконавчих механізмів. Сучасні виконавчі механізми	2				
18	Модульний контроль (оцінка Модульного завдання і Модульне тестування).					2

19	Атестація (залік)	2
----	-------------------	---

Викладач _____ І.Т.Цигульов
Завідувач кафедри _____ В.П. Лисенко

Структурно–логічна схема викладання дисципліни
«Виконавчі пристрої систем керування»

Номер змістового модуля	Розділ дисципліни	Тема лекції	Тема лабораторного (практичного) заняття	Форма контролю знань
1	Електричні виконавчі механізми	Лекція №1 Вступ. Задачі й цілі дисципліни. Тема 1. Загальні зведення про виконавчі пристрої: основні поняття й визначення виконавчих пристроїв; регулюючі органи; класифікація та принципи побудови; характеристики; вимоги	<i>Практичне заняття №1</i> Розрахунок механічних характеристик асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором	Модульний контроль (оцінка Модульного завдання і Модульне тестування)
		Лекція №2 Тема 2. Електродвигунові виконавчі механізми: виконавчі механізми з електродвигунами постійного струму: будова; схеми збудження; статичні і динамічні характеристики	<i>Лабораторна робота №1</i> Дослідження часових характеристик електродвигунових виконавчих механізмів	
		Лекція №3 Тема 2 (продовж): виконавчі механізми з електродвигунами змінного струму: асинхронні двигуни; статичні і динамічні характеристики	<i>Практичне заняття №2</i> Розрахунок і вибір електродвигунових виконавчих механізмів	
		Лекція №4 Тема 2 (продовж): синхронні, вентильні та крокові електродвигуни: будова; статичні й динамічні характеристики		
		Лекція №5 Тема 3. Електричні виконавчі механізми: ходові електромагніти; електромагнітні		

		виконавчі механізми: виконавчі механізми з електромагнітним клапаном; виконавчі механізми з електромагнітною муфтою: будова; статичні і динамічні характеристики		
2	Пневматичні і гідравлічні виконавчі механізми	Лекція №6 Тема 4. Гідравлічні і пневматичні виконавчі механізми: пневматичні виконавчі механізми: будова, принцип дії, статичні, динамічні та регульовальні характеристики	<i>Лабораторна робота №2</i> Вивчення й дослідження статичних характеристик електромагнітних виконавчих механізмів	Модульний контроль (оцінка Модульного завдання і Модульне тестування)
		Лекція №7 Тема 4. (продовж): гідравлічні виконавчі механізми: будова, принцип дії, статичні, динамічні та регульовальні характеристики	<i>Практичне заняття №3</i> Вибір виконавчих механізмів та регулюючих органів	
		Лекція №8 Тема 5. Гідравлічний привід: загальна характеристика приводу; структурна функціональна схема гідроприводу; класифікація і принцип роботи гідроприводу; переваги й недоліки гідроприводу	<i>Практичне заняття №4</i> Гідравлічні слідкуючі приводи. Гідропідсилювачі	
		Лекція №9 Тема 5. (продовж): гідравлічні та пневматичні підсилювачі; класифікація гідравлічних та пневматичних підсилювачів; характеристики гідравлічних та пневматичних підсилювачів		
		Лекція №10 Тема 6. Обґрунтування вибору виконавчих механізмів. Сучасні виконавчі механізми		

Протокол

погодження робочої навчальної програми дисципліни

«Виконавчі пристрої систем керування»

з іншими дисциплінами для підготовки фахівців напряму

підготовки – **6.050202 – «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології»**

Дисципліна та її розділи, що передують вивченню дисципліни «Виконавчі пристрої систем керування»	Прізвище, ініціали, вчена ступінь та вчене звання викладача, що забезпечує попередню дисципліну	Підпис	Дисципліна та її розділи, в яких використовуються матеріали дисципліни «Виконавчі пристрої систем керування»	Прізвище, ініціали, вчена ступінь та вчене звання викладача, що забезпечує наступну дисципліну	Підпис
Теорія автоматичного керування	Шуруб Ю.В., доцент, ктн.		Проектування систем автоматики	професор, к.т.н. Лисенко В.П.	
Вища математика	Панталієнко Л.А., доцент, кфмн		Автоматизовані системи управління	професор. д.т.н. Котов Б.І.	
Загальна фізика	Льїн П.П., доцент, кфмн		Моделювання і оптимізація систем керування	професор, д.т.н. Шворов С.А.	
Електротехніка і електромеханіка	Пузанов А.П., доцент, ктн		Курсове та дипломне проектування	НПП кафедри	
Загальна хімія	Пономарьова І.Г., доцент, кхн				
Гідрогазодинаміка	Васеленков В.Г., доцент, ктн				
Термодинаміка і теплотехніка	Драганов Б.Х., професор, дтн				