

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ



РОБОЧА ПРОГРАМА,
методичні вказівки та індивідуальні завдання
до вивчення дисципліни «Елементи автоматизованого
електроприводу»
для студентів напряму
підготовки 6.050702 – електромеханіка

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

РОБОЧА ПРОГРАМА,
методичні вказівки та індивідуальні завдання
до вивчення дисципліни «Елементи автоматизованого
електроприводу»
для студентів напряму
підготовки 6.050702 – електромеханіка

Затверджено
на засіданні Вченої ради
академії
Протокол №1 від 29.01.2013

Дніпропетровськ НМетАУ 2013

УДК 621.3

Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни «Елементи автоматизованого електроприводу» для студентів напрямку 6.050702 – електромеханіка./ Укл.: А. В. Ніколенко, В. Є. Кажан, В. В. Стьопкін – Дніпропетровськ, НМетАУ, 2013.– 44с.

Наведені робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни «Елементи автоматизованого електроприводу», література, пояснення до виконання індивідуальних завдань контрольної роботи.

Призначена для студентів напрямку 6.050702 – електромеханіка заочної форми навчання.

Друкується за авторською редакцією

Укладачі: А. В. Ніколенко, канд. техн. наук, доц.
В. Є. Кажан, канд. техн. наук, доц.
В. В. Стьопкін, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск А.В. Ніколенко, канд. техн. наук, доц.

Рецензент О.Ю. Потап, канд. техн. наук, доц. (НМетАУ)

Відповідальний за комп'ютерний набір В.В. Стьопкін

Підписано до друку 08.07.2013. Формат 60x84 1/16. Папір друк. Друк плоский.
Облік.-вид. арк. 2,58. Умов. друк. арк.2,56. Тираж 100 пр. Замовлення №

Національна металургійна академія України
49600, м. Дніпропетровськ-5, пр. Гагаріна, 4

Редакційно-видавничий відділ НМетАУ

1. РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ЕЛЕМЕНТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ»

1.1. Розподіл навчальних годин (заочна форма навчання)

	Усього	По семестрах	
		I	II
Усього годин за навчальним планом	72		72
у тому числі:			
аудиторні заняття	12		12
з них:			
лекції	8		8
лабораторні заняття	4		4
практичні заняття			
семінари			
самостійна робота	60		60
у тому числі при:			
підготовці до аудиторних занять			
підготовці до контрольних заходів			1кр
виконанні курсових проектів			
виконанні індивідуальних завдань			
опрацюванні розділів програми, які не викладаються на лекціях			
Підсумковий контроль			залік

1.2. Характеристика дисципліни

Навчальна дисципліна “Елементи автоматизованого електроприводу” входить до циклу професійно-орієнтованих дисциплін за переліком та є однією з важливих у системі теоретичної підготовки студентів за напрямом “Електромеханіка”.

Метою дисципліни “Елементи автоматизованого електроприводу” є вивчення принципів побудови та дії, параметрів, характеристик, динамічних властивостей, особливостей використання та оволодіння студентами методичною основою експериментального дослідження елементів електроприводів механізмів технологічних комплексів підприємств металургійної галузі.

Дисципліна ґрунтується на таких дисциплінах, як фізика, вища математика, теорія автоматичного керування та ін., і є основою для вивчення таких дисциплін, як системи керування електроприводами, спеціальні електроприводи і автоматизація технологічних комплексів та ін.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен знати:

- призначення, класифікацію, параметри та характеристики, умовні зображення та позначення елементів на схемах АЕП;

- принцип дії безперервних та дискретних типових елементів АЕП;

- схеми та роботу елементів за їх схемами, переваги та недоліки;

- рівняння динаміки, передаточні функції, статичні, часові та частотні характеристики і структурні алгоритмічні схеми елементів;

уміти:

- розраховувати параметри і робити вибір типових елементів АЕП;

- експериментально досліджувати в умовах лабораторії типові елементи АЕП;

- будувати графіки характеристик елементів в усталеному та перехідному режимах роботи;

- читати електричні принципові та структурні алгоритмічні схеми елементів;

- користуватися довідниковою літературою та нормативно-технічною документацією;

бути ознайомленим з:

- особливостями експлуатації елементів АЕП;
- методами аналізу динамічних процесів в елементах;
- принципами уніфікації та стандартизації проектування елементів;
- довідниковою літературою та держстандартами;
- прикладними розрахунку та структурою типового автоматизованого ЕП;
- перспективами та тенденціями розвитку елементної бази АЕП.

Критерії успішності – отримання позитивної оцінки за результатами захисту лабораторних та контрольної роботи з отриманням заліку.

Засоби діагностики успішності навчання – контрольна робота та запитання при її виконанні і захисту.

Зв'язок з іншими дисциплінами – дисципліна є завершальною при підготовці бакалаврів за напрямом “Електромеханіка”. До забезпечуючих навчальних дисциплін, на яких ґрунтується викладання даної дисципліни, відносяться вища математика, фізика, теорія автоматичного керування, електричні машини та ін.

Набуті знання та уміння використовуються при вивченні таких дисциплін, як теорія електропривода, моделювання електромеханічних систем, спеціальні електроприводи і автоматизація технологічних комплексів та інших спеціальних дисциплін, при виконанні курсових та випускних кваліфікаційних робіт.

1.3. Зміст дисципліни за темами, теоретичний курс

Тема 1. Керуючі елементи автоматизованого електроприводу

Параметри та характеристики елементів АЕП. Загальні відомості про елементи АЕП. Вимірювальні перетворювачі. Координати, типи і характеристики елементів АЕП. Графічні позначення та зображення елементів на схемах АЕП. Класифікація елементів АЕП. Математичне описання елементів АЕП. Порядок складання рівнянь динаміки.

Логічні та обчислювальні елементи керування дискретної дії. Елементи теорії дискретних автоматизованих пристроїв. Основні поняття. Синтез комбінаційних автоматів. Синтез послідовностних автоматів. Логічні елементи. Типові цифрові вузли. Застосування програмованих реле для реалізації дискретних автоматизованих пристроїв.

Датчики. Датчики кутових і лінійних переміщень. Індукційні вимірювальні пристрої на сельсинах. Індуктивні вимірювальні пристрої. Потенціометричні і ємнісні вимірювальні пристрої. Дискримінатори. Фазовий дискримінатор. Частотний дискримінатор. Аналогові та цифрові датчики швидкості, напруги та струму. Оберткові трансформатори. Датчики частоти обертання. Цифрові датчики. Датчики напруги та струму.

Тема 2. Силкові елементи автоматизованого електроприводу

Керовані перетворювачі напруги та струму. Генератори постійного струму. Вентильні перетворювачі напруги постійного струму. Індуктивно-ємнісні перетворювачі струму.

Перетворювачі частоти. Трифазні перетворювачі частоти з автономними інверторами. Безпосередні перетворювачі частоти.

Уніфіковані блоки систем регулювання. Регулятори. Погоджуючі елементи

Керування регульованим електроприводом з використанням електронних програмованих реле EASY. Загальні принципи складання схем електричних-принципових керування електродвигунами засобами програмного забезпечення EasySoft. Приклади.

2. ЗМІСТ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЗА ТЕМАМИ ДИСЦИПЛІН

2.1. Тема 1. Керуючі елементи автоматизованого електроприводу

2.1.1. Зміст та методичні вказівки до теми 1

Загальні відомості про елементи АЕП. Необмеженою частиною будь-якого технологічного комплексу або установки є АЕП. АЕП – це складна електромеханічна система, до якої входить система керування (СК) та силова частина і призначений для перетворення електричної енергії в механічну у відповідності з вимогами технологічного процесу робочої машини (РМ) або об'єкта керування (ОК).

До складу АЕП входять різні елементи та підсистеми автоматичного керування РМ (ОК). Їх задачі: збір інформації про зміну стану технологічного процесу, обробка та аналіз цієї інформації, формування і видача керуючих впливів та безпосередня реалізація алгоритму функціонування технологічного

комплексу (установки), до яких відносяться кранові установки, електровізки наземного і підвісного транспорту, металорізальні верстати, компресорні установки і т. д.

Процес керування зводиться до пуску, регулювання швидкості, реверсування та гальмування або зміни режиму роботи електроприводу (ЕП) у відповідності з вимогами технологічного процесу.

Вимірювальні перетворювачі. Жодна система керування не може працювати без інформації про стан об'єкта керування і його реакції на керуючий вплив. Елементами, які забезпечують отримання такої інформації, є датчики – конструктивно завершені пристрої, які складаються з чуттєвого елемента (первинного вимірювального перетворювача – ВП) й додаткових (вторинних) перетворювачів, які забезпечують у відповідності з вимогами ДСП – державної системи промислових пристроїв і засобів автоматизації – уніфікацію вихідного сигналу за його видом та рівнем, наприклад, за постійним струмом: 0...5, 0...20, 0...±5, 4...20мА; за постійною напругою: 0...10, 0...20, 0...±10мВ, 0...1, 0...10, 0...±1 В; за змінною напругою: 0...2, 0...±1В; за частотою: 2...4, 4...8 кГц і т.д.

Слід зауважити, що у багатьох випадках розробки інформаційно-вимірювальних та автоматичних систем керування, проблема вибору датчика є настільки важливою і часто складною у вирішенні, що вона стає визначаючою у доцільності продовження робіт по таким системам.

Нижче наведена статистика використання датчиків у промисловості за видом контрольованих параметрів: температура – 50%, об'ємні та масові витрати – 15%, тиск – 10%, рівень (рідина) – 5%, маса, об'єм – 5%, час – 4%, критичні та магнітні величини – менше 5%; за кількістю точок контролю атомна електростанція середніх розмірів – біля 3000; великі хімічні підприємства – біля 20000 тільки для вимірювання температури.

Координати, типи і характеристики елементів АЕП. Загальною математичною моделлю елемента АЕП може бути багатополіусник, полюсам якого відповідають зовнішні координати елемента (рис.2.1,а). До складу виділених зовнішніх координат входять: X_1, X_2, \dots, X_n – вхідні керуючі впливи, Y – вихідна величина, U – збурення по джерелу живлення, Z – збурення по навантаженню.

Координатами елемента є функціональні величини, аналогові та дискретні, які можуть зберігатися з їх фізичними носіями. Наприклад, у якості керуючого впливу може бути прийнята фаза, а її фізичним носієм є електричний імпульс відповідної напруги; вихідною величиною може бути частота, а її фізичною реалізацією – напруга, струм, послідовність імпульсів. Усередині елемента можна виділити деяку величину V – внутрішню координату, яка має особливе значення у формуванні вихідної величини. Наприклад для генератора при постійній кутовій швидкості вихідною величиною є ЕРС, що визначається результуючою МРС збудження, а для тиристорного перетворювача ЕРС є функцією кута відкриття тиристорів.

Для елементів, вихідною величиною яких прийнята ЕРС або напруга, збуренням по навантаженню Z є струм вихідного кола, а збуренням по джерелу живлення U – коливання напруги мережі. Надалі будемо припускати, що джерело живлення досить потужне і збурення U відсутнє, при цьому елемент буде характеризуватися трьома зовнішніми координатами: X, Y, Z (рис.2.1,б).

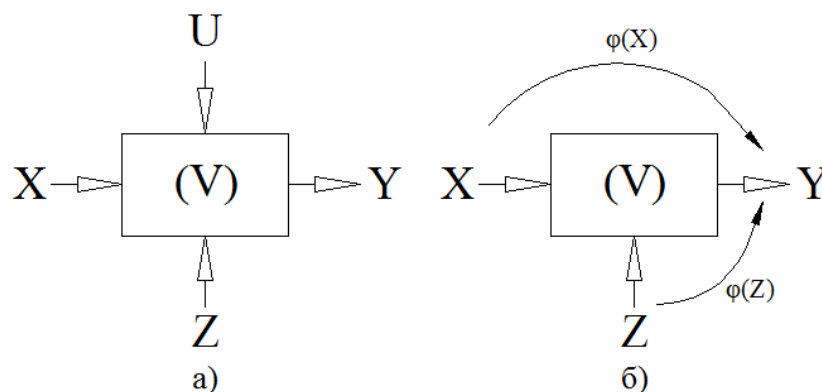


Рис.2.1. Загальна математична модель елемента АЕП

Вихідна величина являє собою функцію двох змінних: $Y = f(X, Z)$. Якщо прийняти збурення незмінним параметром, то отримаємо ряд характеристик:

$$Y = \varphi(X) \text{ при } Z = \text{const}, \quad (2.1)$$

які будемо називати характеристиками керування (рис.2.2,а). Залежність вихідної координати від вхідної характеризує керуючу властивість елемента. Якщо вхідний вплив прийняти за незмінний параметр, а величину Z – за аргумент, то функція $f(X, Z)$ матиме наступний вид характеристик:

$$Y = \varphi(Z) \text{ при } X = \text{const}, \quad (2.2)$$

які називають рядом зовнішніх характеристик (рис.2.2,б).

Датчики поділяються на генераторні та параметричні. В генераторних датчиках виконується перетворювання параметра, що вимірюється

безпосередньо у електричний сигнал; до таких датчиків відносять (у дужках вказано притаманне фізичне явище та вид вимірювальної величини):

1. П'єзоелектричні (залежність параметрів п'єзоєфекту деяких кристалів (кварцу, турмаліну та ін.) і спеціальної кераміки від значень і характеру впливаючих сил; вимірювання тиску, вібрації, прискорення, рівня, швидкості, витрат за рівнем).
2. Індукційні (явище електромагнітної індукції: витрати рідини та частота обертання).
3. Фотоелектричні (залежність ЕРС фотоелемента з запираючим шаром від освітленості; частота обертання, обертовий момент, лінійні розміри);
4. Термоелектричні (термопари) (термоелектричний ефект: температура і фізичні величини, що залежать від неї).
5. Гальванічні (залежність ЕРС гальванічного елемента від складу і концентрації розчинів електrolітів).
6. Електрокінетичні (явище електрокінетичного потенціалу, що виникає при протіканні полярної рідини через пористу стінку).
7. Датчики з часовоімпульсним виходом (контролюємі параметр перетворюється в пропорційний по тривалості імпульсу).
8. Частотні датчики (з частотним виходом).

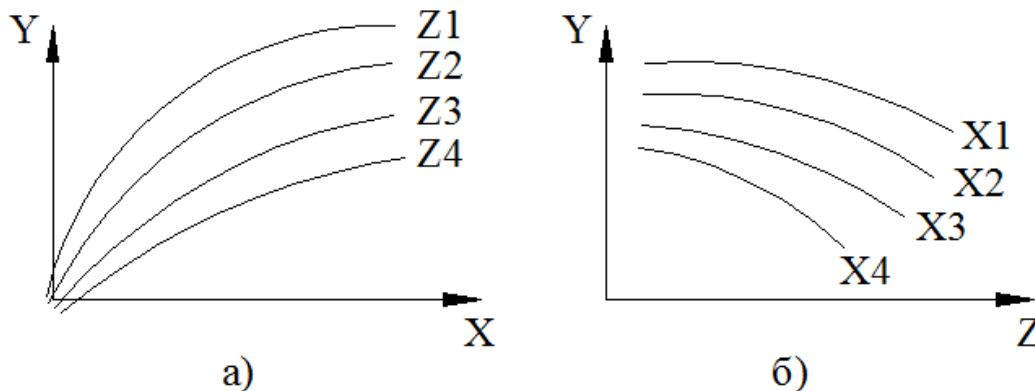


Рис.2.2. Зовнішні характеристики елемента АЕП

В параметричних датчиках вимірювальна величина перетворюється в параметри електричного кола – опір, індуктивність, ємність та т.д.; до таких датчиків відносять:

1. Ємнісні (залежність ємності конденсатора від розмірів та взаємного розміщення його обкладок: тиск, переміщення, рівень, концентрація речовини).

2. Індуктивні (залежність індуктивності дроселя від довжини і площі перетину його сердечника під впливом механічних переміщень).
3. Трансформаторні (вимірювання взаємної індуктивності обмоток під впливом механічних переміщень).
4. Магнітопружні (вимірювання магнітної проникності (чи індукції) феромагнітних тіл під впливом прикладених до них механічних сил чи напруг).
5. Електроконтактні, які комутують електричне коло під впливом вимірювального параметра.
6. Потенціометричні (реостатні) (залежність опору реостата від положення його движка, що переміщується під впливом контролюємого параметра: абсолютний, збитковий тиск рідких та газоподібних середовищ і перепади тиску; координати і відносні переміщення, лінійні прискорення; кутові швидкості; швидкісний напір т. ін.).
7. Рідинні (електролітичні) (вимірювання опору електропровідної рідини при взаємному переміщенні електродів та вимірюванні геометричної форми корпусу чуттєвого елемента).
8. Механотронні (перетворення контролюємого параметра у переміщення електродів електровакуумної лампи).
9. Тензорезисторні (тензометричні) (вимірювання опору провідників та напівпровідників при пружних деформаціях – вимірювання тиску, зусилля, обертаючого моменту, відносного переміщення, лінійних прискорень).
10. Датчики контактного опору (залежність контактного опору між поверхнями двох твердих тіл від зусилля їх натискання).
11. Магнітомодуляційні (модуляція магнітного потоку за рахунок контролюємого параметра, наприклад, переміщення).
12. Датчики термоопору, п'єзоопору, фотоопору і т.д. (властивості кола, до складу якого входять вказані елементи, змінювати свій опір відповідно до залежності від температури, механічного напруження, освітленості і т.д.).

Датчики генераторного типу з коефіцієнтом передачі $K=Y/X$ частіше всього виконуються за схемою прямого однократного перетворення (рис.2.3,а); за необхідності отримання уніфікованого вихідного сигналу використовують багатоланкову структуру з декількох ВП з коефіцієнтами передачі $K_1...K_n$

(рис.2.3,б). В датчиках, побудованих за диференційною схемою (рис.2.3,в), вимірювальна величина подається одночасно на два ідентичні ВП ($K_1=K_2$), при цьому вихідний сигнал датчика пропорційний різниці вихідних сигналів ВП кожного з каналів. До переваг таких датчиків відносять: підвищений захист від перешкод, можливість реверсування статичної характеристики і зменшення її нелінійності.

Найбільш досконалою схемою є схема зі зворотним зв'язком – компенсаційна схема (рис.2.3,г), у якій забезпечується автоматичне керування контрольованої величини, компенсуючи величину того ж виду безпосередньо або після попереднього перетворення. Тут K_2 – коефіцієнт передачі кола зворотного зв'язку.

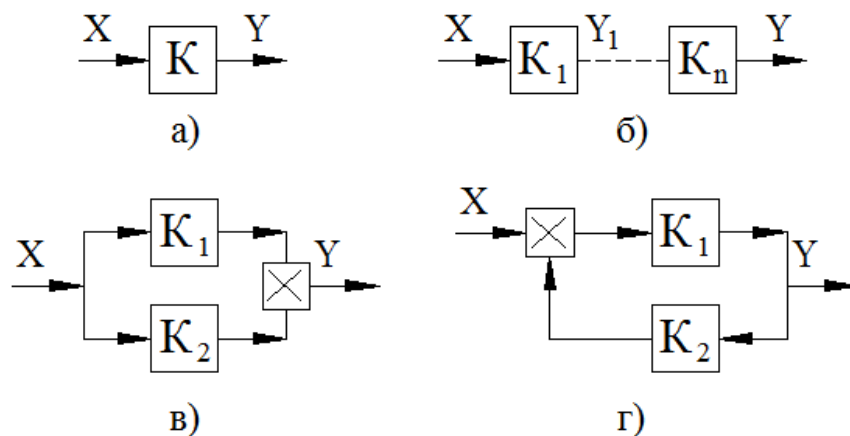


Рис.2.3. Структурні схеми датчиків

Розглянемо характеристики датчиків (вимірювальних перетворювачів):

Статична характеристика – це функціональна залежність між вхідною X та вихідною Y величинами датчика в усталеному режимі. Вона може бути лінійною (рис.2.4,а) чи не лінійною (рис.2.4,б) та виражатися аналітично (рівнянням) у вигляді графіка чи таблиці. В загальному випадку для лінійної статичної характеристики рівняння має вигляд:

$$Y=F(X)=\pm B+KX, \tag{2.3}$$

де K – коефіцієнт перетворення;

B – постійна.

Якщо $B=0$, то характеристика проходить через початок координат (рис.2.4,а); при $B>0$ характеристика зсунута відносно початку координат по осі абсцис на величину вихідного сигналу холостого ходу $y_0 = B$ (рис.2.4,б пряма 1); при $B<0$ характеристика має зону нечутливості $0...X_0$ (рис.2.4,в

пряма 2). Якщо характеристика має ділянку насичення (рис.2.4,г), то вона описується двома рівняннями: на ділянці $0 \dots X_k - Y = KX$; на ділянці $X > X_n - Y = Y_n$. При $K = \infty$ характеристика приймає релейний характер (рис.2.4,д). Така характеристика притаманна датчикам позиційного регулювання та характеризується коефіцієнтом повернення $K_n = X_0 / X_c$, де X_0, X_c – значення вхідного сигналу відпускання та спрацювання датчика. Гістерезисна характеристика (рис.2.4,е) характеризується коефіцієнтом неоднозначності $K_r = X_r / (X_k - X_n)$, де X_r, X_k, X_n – ширина зони неоднозначності, кінець та початок робочого діапазону вхідної величини. Характеристики двотактних (реверсивних) датчиків мають другу (дзеркально відображену) вітку в третьому квадранті.

Для датчиків з нелінійними характеристиками (рис.2.4,б) використовують диференціальний коефіцієнт перетворення $K_n = dY / dX$, який визначається кутом нахилу дотичної до характеристики в робочій точці.

Чутливістю датчика називають відношення вихідної величини Y до вхідної X у відповідних одиницях. Наприклад, для реостатного датчика одиниця чутливості – Ом/мм, для термопари – мВ/К, для фотоелемента – мкА/лм і т.д.

Порогом чутливості датчика називають мінімальне значення вхідного сигналу X , який викликав появу реєструючого вихідного сигналу Y .

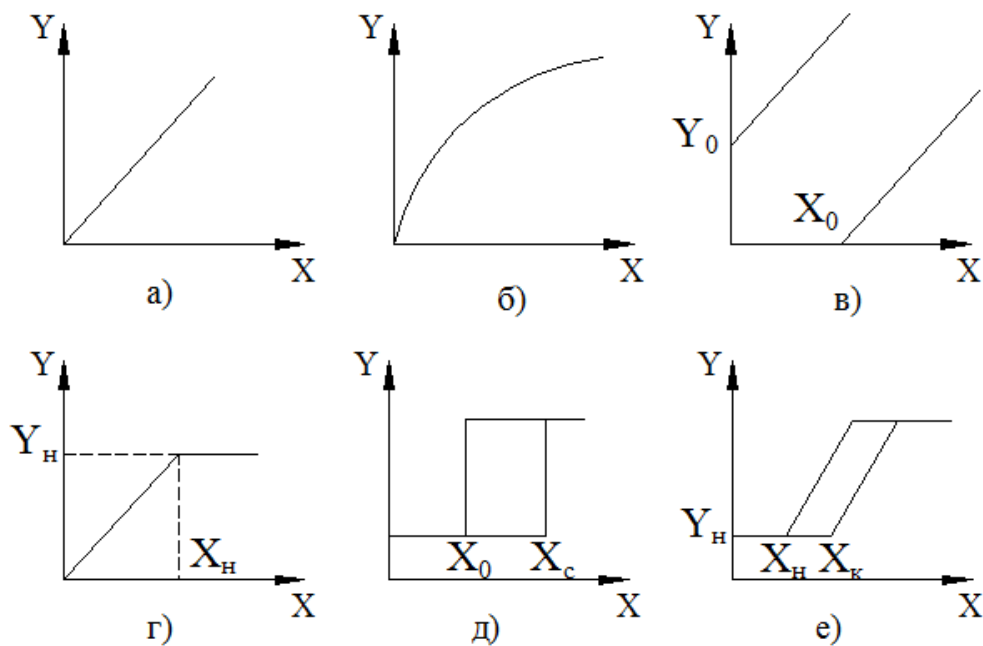


Рис.2.4. Статичні характеристики датчиків

Похибки датчиків розділяють на основні та додаткові. Основна похибка – це максимальна різниця між вимірним значенням вихідного сигналу та його істинним значенням, яке визначається по ідеальній статичній характеристиці для даного входу величини при нормальних експлуатаційних умовах. Вона може бути як у абсолютних одиницях, так і у відносних; в останньому випадку вона дорівнює відношенню абсолютної похибки до істинного значення вихідного сигналу і частіше за все дається у відсотках. Крім того, використовується така відносна приведена похибка, що дорівнює відношенню максимальної абсолютної похибки в діапазоні вимірюваної величини до її верхнього значення (в процентах). Додаткові похибки викликаються змінами умов зовнішнього середовища та внутрішніми процесами в датчиках (зміна температури, вологості, коливання напруги джерела живлення, механічна дія, старіння та знос матеріалу і т.д.). Додаткова похибка виражається зазвичай в відсотках зміни вихідної величини на відповідну величину параметра.

В залежності від специфіки застосування похибки датчиків нормуються абсолютним значенням, відносним чи класом точності, який є узагальненою характеристикою основної зведеної та додаткової похибки.

Динамічна характеристика визначає швидкість відгуку датчика на зміну контрольованого параметра; за динамічними властивостями більшість датчиків відноситься до підсилювальних, аперіодичних або коливальних ланок.

Графічні позначення та зображення елементів на схемах АЕП. Для дослідження систем автоматичного керування (САК) та елементів АЕП зручно використовувати структурні алгоритмічні схеми. Вони являють собою графічне зображення рівнянь динаміки елементів та взаємозв'язок між ними. Для складання алгоритмічної схеми використовуються умовні позначення та елементи, до яких належать:

- динамічні елементи (ланки), які зображуються у вигляді прямокутників з зазначенням в них передатних функцій (рис.2.5,а);
- суматори (підсумовуючі ланки), що здійснюють підсумування сигналів (рис.2.5,б);
- віднімачі (порівнюючі елементи), які здійснюють утворення різних двох сигналів (рис.2.5,в);
- точки залуження сигналу та лінії зв'язку зі стрілками, які вказують напрямок передавання впливу (рис.2.5,г).

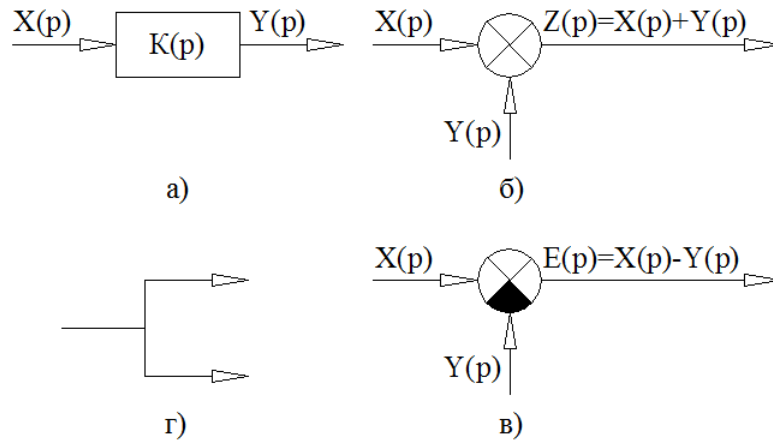


Рис.2.5. Приклади графічного позначення та зображення елементів

Класифікація елементів АЕП. Елементи АЕП, зображені у вигляді структурної схеми на рис.2.6. Ця схема пояснює місце та значення елемента у складі АЕП та дає основу для класифікації елементів.

Елементи за енергетичною ознакою можна підрозділити на дві групи:

1. Силкові елементи, через які основний потік енергії проходить, перетворюється ними та підводиться до кінцевого об'єкта керування – робочому органу (РО); ці елементи складають силову, енергетичну частину АЕП (права частина від штрихпунктирної лінії на рис.2.6);

2. Керуючі елементи, які виробляють, перетворюють та підводять сигнали керування силовими елементами, через які реалізується керування електричним потоком. Ці елементи складають інформаційну частину електроприводу (ліва частина рис.2.6).

До силових елементів відносяться: керовані перетворювачі (КП), які підводять електричну енергію до двигуна; двигуни; механічні перетворювальні елементи, що входять до складу кінематичного кола (КК); робочі органи виробничих механізмів (ВМ). Основним силовим елементом є електричний двигун (ЕД). Саме двигун здійснює електромеханічне перетворення енергії, що складає фізико-енергетичну сутність електроприводу.

Керуючі перетворювачі за функціональною ознакою поділяються на три категорії: перетворювачі напруги (джерела напруги), перетворювачі струму (джерела струму), перетворювачі частоти. В залежності від виду перетворення енергії можна виділити перетворювачі: електромеханічні (генератори постійного та змінного струму), електромагнітні (магнітні підсилювачі, індуктивно-ємнісні джерела струму), електричні (напівпровідникові перетворювачі).

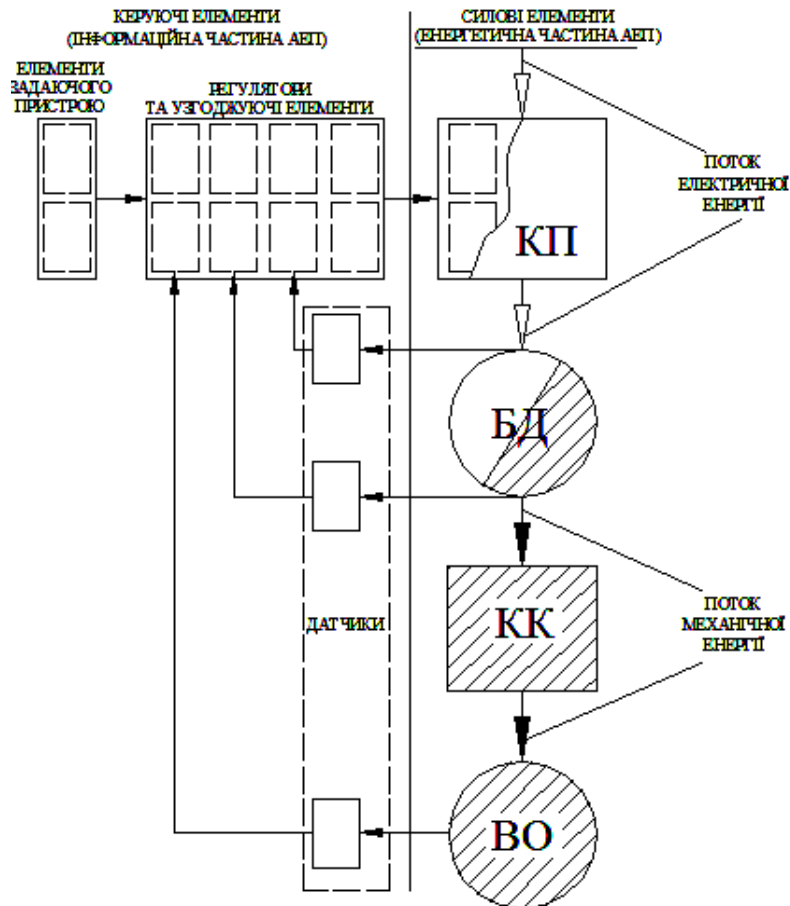


Рис.2.6. Структурна схема АЕП

Сучасну групу керованих перетворювачів складають напівпровідникові перетворювачі: тиристорні перетворювачі змінного струму у постійний струм, транзисторні перетворювачі постійного струму з широтно-імпульсною модуляцією, тиристорні та транзисторні перетворювачі частоти з автономними інверторами та з безпосереднім зв'язком с мережею.

В залежності від місця у структурі АЕП керуючі елементи можна поділити на дві групи:

- елементи, формуючі завдання на рух, та ті, що визначають статичні та динамічні властивості АЕП; ці елементи утворюють систему керування електроприводом та є його невід'ємною частиною;

- елементи, які формують властивості силового елемента та входять до його складу.

Різноманіття АЕП обумовлює різноманіття його елементів за їх конструктивним виконанням, фізичними принципами дії, виду енергії, функціональному призначенню і т.д. Це призводить до необхідності

класифікувати елементи АЕП, поєднуючи їх в окремі групи з ознаковими класифікаційними ознаками.

Задача будь-якого елемента в загальному випадку полягає у перетворюванні одержаної інформації та її передачі у формі, зручної для використання, наступному елементу. Тому кожний елемент приводу можна розглядати як перетворювач енергії, на вхід якого надходить величина $x_i(t)$, а з виходу знімається величина $y_i(t)$. Виходячи із цього, під елементом розуміють конструктивно закінчену частину системи, що виконує функції по перетворюванню енергії або форми сигналу.

Ці елементи класифікуються за такими основними ознаками:

1. По функціональному призначенню: вимірювальні, підсилювально-перетворювальні, виконавчі, коректуючі, задаючі, порівнюючі, регулюючі, та допоміжні (логічні, імпульсні, зберігання і т.ін.);
2. По виду рівнянь динаміки: лінійні, лінеаризовані та нелінійні;
3. За характером зміни сигналів: безперервні, імпульсні, цифрові та релейні;
4. По властивостям зміни сигналів – стаціонарні (параметри не змінюються у часі) та нестаціонарні (параметри – функції часу);
5. За принципом дії та роду енергії: енергетичні, магнітні, теплові, механічні, оптичні, гідравлічні, пневматичні та ін.;
6. По здатності до різниці знака (фази) вхідного сигналу: реверсивні та нереверсивні;
7. По наявності допоміжного джерела енергії: пасивні та активні.

Найбільш доцільною є класифікація елементів за функціональним призначенням. Функціональне призначення елементів об'єднує усі елементи до груп по виду виконуваних ними функцій.

Розглянемо з цієї точки зору докладніше призначення елементів.

Вимірювальні пристрої призначені для одержання інформації про стан об'єкта керування (ОК) та перетворювання її у форму, зручну для роботи елемента порівняння. Елемент порівняння, призначений для виявлення неузгодження між потрібним значенням керуючого сигналу $x(t)$ та його справжнім значенням $y(t)$.

Задаючий елемент здійснює виробку потрібного значення сигналу, реалізується на елементах пам'яті або у вигляді програмного механізму. Часто

вимірювальний пристрій, задаючий та порівнюючий виконують у вигляді спільного вимірювального пристрою або датчика. Підсилювально-перетворювальний пристрій призначений для підсилювання та перетворення сигналу за допомогою енергії зовнішнього додаткового джерела. Виконавчий пристрій забезпечує зміну стану ОК за рахунок керуючого впливу, який прикладається до нього. Коректуючий пристрій служить для покращення динамічних властивостей АЕП. Допоміжні пристрої використовуються при переході від безперервних систем до дискретних, до яких відносяться: імпульсні та логічні елементи, цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП). Наведений перелік функціональних пристроїв є необхідним для побудови будь-якого АЕП.

Математичне описання елементів АЕП. Загальні відомості. Для дослідження властивостей елементів і САК, зокрема, АЕП, необхідно мати математичні співвідношення, які встановлюють залежність між її вхідними та вихідними впливами. Таку залежність можна одержати тільки у вигляді рівнянь на основі аналізу та послідуєчого математичного описання у часі фізичних процесів в САК за допомогою диференціальних або кінцево-різницевого рівнянь. Процеси і системи, які описуються диференціальними рівняннями, називаються динамічними, а відповідні їм рівняння – рівняннями динаміки.

У загальному випадку розрізняють два роди рівнянь САК: рівняння динаміки та рівняння статички. Рівняння динаміки описують фізичні процеси в САК при змінних у часі впливах і є зазвичай диференціальними. Вони зв'язують між собою вхідні та вихідні впливи, їх похідні та інтеграли для окремих елементів і систем в цілому. Розв'язання рівняння динаміки характеризує САК у перехідному та сталому режимах. Рівняння статички описують фізичні процеси в САК у сталому режимі при постійних впливах.

Порядок складання рівнянь динаміки. Існує визначений порядок складання рівнянь динаміки, основними етапами якого є такі:

1. Розбивання системи на окремі елементи (ланки) спрямованої дії, що являють собою функціонально та конструктивно завершені частини системи.
2. Складання функціональної схеми системи на основі виділених елементів і розміщених у такому ж порядку, що і реальній схемі. Вони зображуються у вигляді прямокутників із зазначенням назви та ліній зв'язку між елементами.

3. Визначення у елементах змінних або координат, які виражають взаємодію між ними.

4. Складання рівнянь динаміки окремих елементів. Для цього виділяється фізичний закон, який визначає поведінку цього елемента (закон зберігання енергії, закони Кирхгофа і т.ін.).

5. Лінеаризація рівнянь шляхом розкладу функцій та змінних у ряд Тейлора.

6. Подання рівнянь в операторній формі і складання передатних функцій елементів.

7. Складання рівнянь динаміки системи у розімкнутому (головний зворотній зв'язок (ГЗЗ) – розімкнутий та замкнутий (ГЗЗ – замкнута)) стані на основі рівнянь динаміки окремих елементів системи. Рівняння розімкненої САК визначає зв'язок між вхідною та вихідною величинами та їх похідними та складається шляхом зведення n рівнянь елементів в єдине рівняння n -го порядку.

8. Складання структурної (алгоритмічної) схеми САК. Така схема утворюється із функціональної, якщо замість найменування елементів записати їх рівняння динаміки або передатної функції.

9. Визначення передатних функцій системи у розімкнутому та замкнутому стані.

Диференціальні рівняння та передаточні функції елементів. У загальному випадку диференціальне рівняння лінійного стаціонарного елемента або системи, що визначає реакцію (вихідний вплив) $Y(t)$ елемента або системи на вхідний вплив $X(t)$, має вигляд:

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^n Y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} Y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dY(t)}{dt} + a_0 Y(t) = \\ = b_m \frac{d^m X(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} X(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dX(t)}{dt} + b_0 Y(t), \end{aligned} \quad (2.4)$$

де a_i, b_j – постійні коефіцієнти, що визначають параметри ланок системи.

Скорочена форма запису цього рівняння має вигляд:

$$\sum_{i=0}^n a_i \frac{d^i Y(t)}{dt^i} = \sum_{j=0}^m b_j \frac{d^j X(t)}{dt^j}. \quad (2.5)$$

Існує два основних методи розв'язання диференціальних рівнянь: класичний та операторний. В автоматичі широко застосовується операторний метод.

Сутність його полягає у переносі розв'язку функції $f(t)$ змінної t у функцію $F(p)$ комплексної змінної p . Цей перенос здійснюється за допомогою прямого перетворення Лапласа:

$$L[f(t)] = F(p) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-pt} dt, \quad (2.6)$$

де $F(p)$ – зображення за Лапласом функції $f(t)$.

Використовуючи теорему про диференціювання оригіналу при нульових початкових умовах, і якщо:

$$f(t) = F(p), \text{ то } \frac{d^n f(t)}{dt^n} = p^n F(p),$$

тоді рівняння в операторній формі буде мати вигляд:

$$(a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0) Y(p) = (b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_j p + b_0) X(p). \quad (2.7)$$

Введемо позначення:

$$A(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0 = \sum_{i=0}^n a_i p^i, \quad (2.8)$$

$$B(p) = b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_j p + b_0 = \sum_{j=0}^m b_j p^j. \quad (2.9)$$

Рівняння (2.7, 2.8) у скороченій формі мають такий запис:

$$A(p) Y(p) = B(p) \cdot X(p). \quad (2.10)$$

Таким чином, для запису диференційного рівняння в операторній формі необхідно формально замість аргументу t підставити аргумент p , а замість похідної k -го порядку – p^k . Операторний метод дозволяє звести диференційні рівняння до алгебраїчних.

При дослідженні елементів САК операторним методом широко використовується поняття передатної функції. Під передатною функцією елемента $W(p)$ розуміється відношення зображення за Лапласом вхідного впливу $X(p)$ при нульових початкових умовах. Із рівнянь (2.7, 2.8) одержимо:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_j p + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0} = \frac{B(p)}{A(p)}. \quad (2.11)$$

При нульових початкових умовах $Y(0) = Y'(0) = Y''(0) = \dots = Y^{n-1}(0) = 0$. З врахуванням формули (2.9) можна записати:

$$Y(p) = W(p) \cdot X(p). \quad (2.12)$$

Передатна функція елемента показує, які зміни відбуваються з вхідним впливом при проходженні через нього. Вона визначає динамічні властивості і якість, часові та частотні характеристики елементів в цілому. На основі цих характеристик розраховуються показники якості у перехідному та сталому режимах.

Розглянемо приклад складання рівняння динаміки. Потрібно скласти рівняння динаміки RC чотириполіюсника (RC-кола), схема якого представлена на рис.2.7.

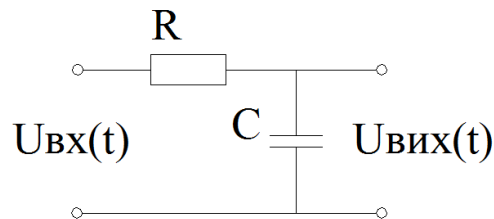


Рис.2.7. Схема RC чотириполіюсника

Згідно з другим законом Кірхгофа можна записати:

$$U_{вх}(t) = U_R(t) + U_C(t), \quad (2.13)$$

$$U_R(t) = i(t) \cdot R = C \frac{dU_C(t)}{dt} R, \quad (2.14)$$

$$U_C(t) = U_{вих}(t). \quad (2.15)$$

Підставимо у рівняння (2.13) співвідношення (2.14, 2.15), в результаті одержимо лінійне диференціальне рівняння динаміки з постійними коефіцієнтами:

$$T \frac{dU_{вих}(t)}{dt} + U_{вих}(t) = U_{вх}(t), \quad (2.16)$$

де $T = RC$ – постійна часу у колі (рис.2.7).

Звідси рівняння динаміки в операторній формі та передатна функція RC-чотириполіюсника мають вигляд:

$$(Tp + 1)U_{вих}(p) = U_{вх}(p), K(p) = \frac{U_{вих}(p)}{U_{вх}(p)} = \frac{1}{Tp + 1}. \quad (2.17)$$

Порівнюючи рівняння (2.16) до нуля, одержимо рівняння статичності $U_{вих}(t) = U_{вх}(t)$.

Типові динамічні ланки та впливи. В автоматичці при аналізі САК прийнято підрозділяти усі її елементи (пристрої) по динамічним властивостям, які

повністю визначаються видом описуючих їх диференційних рівнянь. Елементи відрізняються за призначенням, конструкцією та принципом дії, але описуються однаковими диференційними рівняннями.

У 1938р. радянський вчений А. В. Михайлов увів поняття типової динамічної ланки (ТДЛ), під якою розуміється динамічна ланка, властивості якої описуються диференційними рівняннями не вище другого порядку. ТДЛ є елементарною ланкою спрямованої дії. На схемах ТДЛ позначається у вигляді прямокутника, у середині якого записується її рівняння динаміки або передатна функція (рис.2.8).

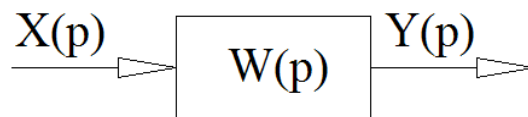


Рис.2.8. Зображення ТДЛ

До ТДЛ відносяться наступні ланки: підсилювальна (пропорційна або безінерційна), аперіодична (інерційна), ідеальні інтегруючі та диференціюючі, форсуючі ланки першого та другого порядку, коливальні, ланки з запізнюванням.

Для того, щоб створити однакові умови при оцінюванні динамічних властивостей різних елементів або САК, використовуються типові вхідні впливи $X(t)$, до яких належать наступні функції часу: ступінчаста функція $1(t)$ або $l(t)$, дельта-функція $\delta(t)$, гармонійний сигнал $A \sin(\omega t + \varphi)$, лінійна At та квадратична At^2 функції.

Ступінчаста функція – при всіх значеннях часу $t < 0$ дорівнює нулю, у момент часу $t = 0$ стрибком змінюється на величину A та зберігає це значення при усіх $t \geq 0$ (рис.2.9,а). При $A=1$ маємо одиничну ступінчасту (функцію Хевісайда) $X(t) = l(t)$.

Дельта-функція (функція Дірака) або одинична імпульсна функція являє собою імпульс нескінченно великої амплітуди та нескінченно малої тривалості з площею, яка дорівнює одиниці (рис.2.9,б).

Таким чином, маючи рівняння динаміки елемента та використовуючи типові вхідні впливи, можна здійснювати дослідження його властивостей, отримавши часові та частотні характеристики.

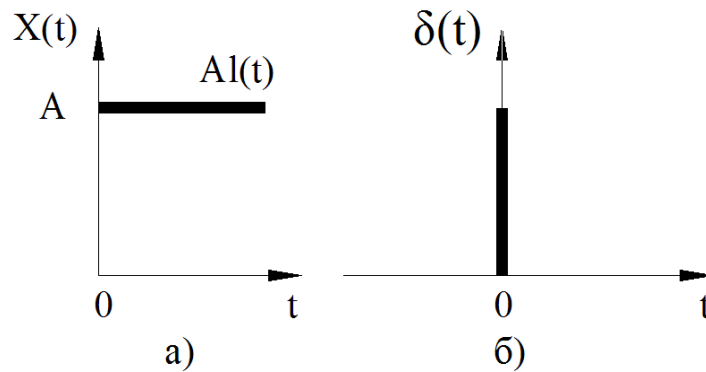


Рис.2.9. Ступінчаста да дельта-функції

Для ступінчатої функції:

$$X(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ A \text{ \hat{=} } Al, & t \geq 0 \end{cases} \quad (2.18)$$

Для дельта-функції:

$$\delta(t) = \begin{cases} 0, & t \neq 0 \\ \infty, & t = 0 \end{cases} \quad \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1. \quad (2.19)$$

Датчики. Датчик це пристрій, що призначений для перетворення інформації, що поступає на його вхід у вигляді деякої фізичної величини, в іншу функціональну величину, для подальшого використання в елементах автоматичних систем.

Датчики складаються з чутливого та перетворюючого елементів (або тільки з чутливого елемента, рис.2.10).

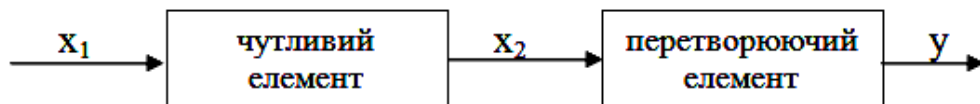


Рис.2.10. Структура датчика

Датчики перетворюють неелектричну величину x в електричну або електричну в електричну, або неелектричну в неелектричну. За родом енергії вихідної величини датчики поділяються на електричні та неелектричні.

Електричні датчики за принципом дії поділяються на:

- параметричні (реагують на фізичний параметр) – до них відносять: контактні, реостатні, потенціометричні, тензодатчики, терморезистори, ємнісні, індуктивні, електронні, фоторезисторні та ін. Вимагають застосування додаткового джерела живлення;

- генераторні (виробляють фізичний сигнал) - до них відносять: термоелектричні (термопари), індукційні, п'єзоелектричні, вентильні фотоелементи та ін. Їм не потрібне додаткове джерело живлення.

Неелектричні поділяються на механічні, пневматичні, гідравлічні та ін.

За точністю датчики повинні відповідати класам: 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,5; 2,5 та 4,0

Датчики класифікуються за різними ознаками, але передусім за видом величини, що вимірюється, та принципом дії (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Класифікація датчиків

№ п/п	Величина, що вимірюється	Тип датчика													
		Неелектричні		Електричні											
		механічні	гідравлічні (пневматичні)	потенціометр.	тензометрич.	індуктивні	терморезисторні	ємнісні	фоторезисторні	електронні	індукційні	п'єзоелектричні	термоелектричні	датчики Холла	фотоелектричні
1	Переміщення	+	+	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	+	+
2	Рівень	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Швидкість	+	+	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+
4	Прискорення	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-
5	Сила	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	-
6	Тиск	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
7	Момент	-	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+
8	Вологість	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	-
9	Температура	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	+	-	+
10	Витрати речовини	-	+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-
11	Вібрація	-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	+	-

Основні характеристики датчиків.

1. Статична характеристика – залежність вихідної величини від вхідної $y=f(x)$.

2. Чутливість (коефіцієнт перетворення) – відношення вихідної величини до вхідної величини:

$k = y/x$ – для датчиків з лінійною статичною характеристикою;

$k=dy/dx$ – для датчиків з нелінійною характеристикою (диференціальна чутливість).

3. Межа чутливості – мінімальна величина на вході датчика, що викликає зміну його вихідної величини. (Залежить від внутрішніх та зовнішніх факторів – тертя, люфту, гістерезису, перешкод).

4. Похибка:

- абсолютна – різниця між дійсним значенням вихідної величини та розрахунковим значенням ($\Delta y = y' - y$);

- відносна – $\delta = \Delta y \cdot 100\%/y$.

5. Динамічна характеристика залежність вихідної величини від вхідної в перехідний період.

6. Вихідна потужність.

7. Вихідний опір.

При підготовці до заходів поточного контролю рекомендовано використовувати таку літературу [1, С.280-294; 2, С.23-57; 3, С.7-32].

2.1.2. Контрольні запитання для самоперевірки

1. Що таке уніфікація датчиків? Чи входить до цього поняття тип його вихідного роз'єму з відповідним розподіленням його контактів?

2. Чим відрізняється датчик від вимірювального перетворювача?

3. Яка статистика використання датчиків у промислових системах контролю та керування?

4. Чи є взаємозв'язок між статичною та динамічною характеристиками датчика?

5. Зберіть схему, до складу якої входить батарея напругою 1,51667В і мультиметр. Визначте абсолютну та відносну похибку вимірювання напруги у програмі EWB. Установіть вихідну напругу батареї 1,5165В і повторіть виміри. Поясніть причину неспівпадання результатів вимірів у EWB різних версій.

2.2. Тема 2. Силові елементи автоматизованого електроприводу

2.2.1. Зміст та методичні вказівки до теми 2

Керовані перетворювачі напруги та струму. У системах АЕП генератори постійного струму знаходять застосування як керовані перетворювачі напруги, що живлять двигуни. В енергетичному відношенні генератор – електромеханічний перетворювач енергії. Механічна енергія, що надходить із вала приводного двигуна, асинхронного або синхронного, перетвориться в електричну енергію постійного струму. Переваги перетворювального агрегату з генератором постійного струму: лінійність перетворення керуючого сигналу у вихідну ЕРС у великому діапазоні його зміни; відсутність переключень у напрузі живильної мережі змінного струму від роботи генератора; слабкий вплив коливань напруги живильної мережі на вихідну ЕРС генератора; можливість роботи з високим і регульованим коефіцієнтом потужності.

До недоліків перетворювального агрегату слід віднести відносно невисокий результуючий ККД; за рахунок втрат у генераторі й приводному двигуні, більші масогабаритні показники, значні витрати на установку перетворювального агрегату, шум, виникаючий при роботі агрегату, істотна інерційність у каналі керування.

Вітчизняною промисловістю виготовляються серії генераторів як загального призначення, так і спеціального. Вони розрізняються по конструкції, потужності, експлуатаційним характеристикам. Незважаючи на велику різноманітність, генератори загального призначення мають і певні загальні показники: у генераторів невеликої і середньої потужності (до 100-200 кВт) відсутня компенсаційна обмотка; щітки для генераторів встановлюються на геометричній нейтралі; максимальна перевантажувальна здатність по струму якоря для більшості генераторів дорівнює 2 при тривалості перевантаження до 1,5-3, при тривалості перевантаження до 60 с.

Перетворювачі частоти. Перетворювачі частоти – це пристрої, які призначені для перетворення змінних струмів однієї частоти в змінні струми іншої частоти. Залежно від призначення та схемної реалізації вони розподіляються на такі типи: з безпосереднім зв'язком джерела живлення і навантаження; з проміжною ланкою постійного струму між джерелом і

навантаженням (використовуються в системах великої потужності); з проміжною ланкою змінного струму.

Перетворювачі частоти широко застосовують в електроприводах змінного струму, реалізованих на базі асинхронних машин, в електротермії, для живлення світлотехнічних пристроїв, в радіоелектронних пристроях.

Принцип перетворення частоти базується на використанні керованих елементів (транзисторів чи тиристорів).

Перетворювачі частоти з безпосереднім зв'язком. Розглянемо як відбувається зміна частоти в однофазному перетворювачі з безпосереднім зв'язком (рис.2.11,а). Схема містить трансформатор із середнім виводом на первинній обмотці та дві групи біполярно ввімкнутих тиристорів. Це забезпечує роботу перетворювача в додатні та від'ємні півперіоди вхідного сигналу. В додатний півперіод напруги живлення u_1 працюють тиристори VS2 і VS3, а у від'ємний – VS1 і VS4, тривалість роботи яких визначається моментами подання імпульсів керування.

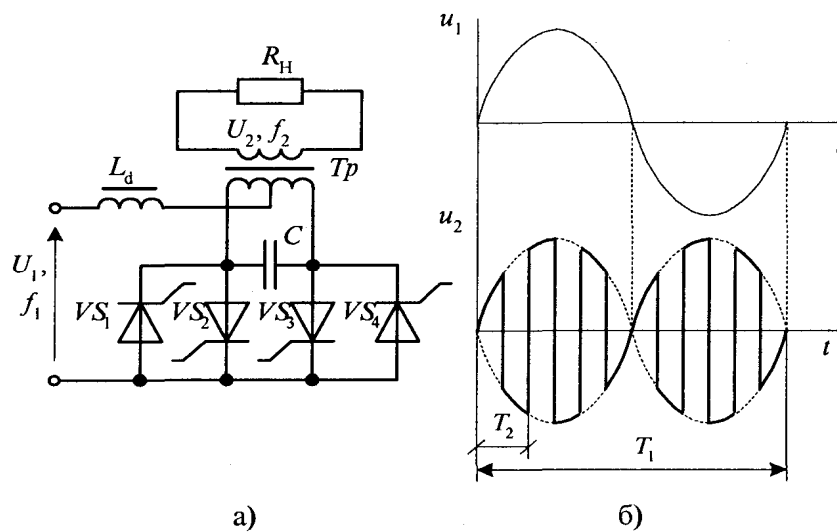


Рис. 2.11. Однофазний безпосередній перетворювач частоти з примусовою комутацією: а) схема; б) часова діаграма

Якщо під час додатної півсинусоїди вхідної напруги відкрити тиристор VS2, то струм проходитиме через ліву півобмотку трансформатора, якщо ж потім відкрити тиристор VS3, то тиристор VS2 закривається, а струм проходитиме вже через праву півобмотку трансформатора. Завдяки протилежній спрямованості струмів у цих півобмотках на вторинній обмотці трансформатора отримується змінна напруга u_2 (рис.2.11,б). Аналогічно формується вихідна напруга трансформатора і під час від'ємної півсинусоїди

вхідної напруги u_1 . Частота вихідної напруги перетворювача залежить від тривалості вмикання тиристорів.

Для закриття тиристорів використано комутувальний конденсатор, який і є вузлом примусової комутації. Під час комутації тиристорів відбувається перезаряд конденсатора, внаслідок чого струм тиристора, що виходить з роботи, дорівнює нулю.

В перетворювачах з примусовою комутацією частоту вихідної напруги f_2 можна регулювати вгору і вниз від частоти f_1 .

Такі перетворювачі частоти мають високу надійність роботи, оскільки, при зриві інвертора в період від'ємної півсинусоїди напруги джерела живлення відкрита пара тиристорів автоматично закривається, так як до анодів тиристорів прикладено від'ємний потенціал.

Перетворювачі частоти з проміжною ланкою. Схеми перетворювачів частоти з проміжною ланкою містять автономні інвертори, які перетворюють постійний струм в змінний. Процес перетворення постійного струму в змінний називається інвертуванням і є оберненим до випростування струму. Під час цього процесу потік енергії спрямований з кола постійного струму в коло змінного струму. Якщо в колі змінного струму є джерело напруги, то процес інвертування можливий тільки за умови, що напрям струму буде протилежним до напрямку напруги цього джерела. Залежно від умов інвертування, схеми поділяються на автономні інвертори та інвертори, ведені мережею. В автономних інверторах в колі змінного струму, куди інвертор пересилає енергію, відсутнє джерело змінної напруги і періодичність цієї напруги задається конкретною схемою інвертора. Для цього за допомогою керованих вентилів здійснюється комутація струму джерела постійної напруги, яка підтримується додатковими елементами (переважно конденсаторами або конденсаторами з індуктивністю).

Структурну схему перетворювача частоти з проміжною ланкою постійного струму зображено на рисунку 2.12.

Такі перетворювачі складаються з керованого випростувача В, фільтра та автономного інвертора АІ. Регулювання частоти f_2 вихідної напруги в такій схемі здійснюється інвертором за допомогою системи керування СКІ, а величини напруги U_2 – керованим випростувачем з використанням системи керування СКВ. В окремих випадках регулювання частоти і величини вихідної

напруги здійснюються тільки інвертором, випростувач виконується некерованим. Частота вихідної напруги регулюється в широкому діапазоні як вниз, так і вгору від частоти джерела живлення.

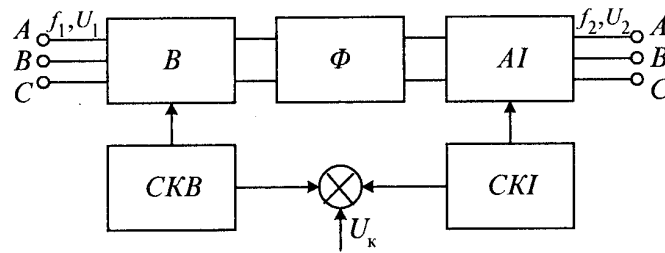


Рис.2.12. Структурна схема перетворювача частоти з проміжною ланкою постійного струму

Недоліком перетворювачів з проміжною ланкою постійного струму є подвійне перетворення енергії, що приводить до зниження ККД перетворювача, збільшення його встановленої потужності і маси. Проте, такі перетворювачі простіші за будовою у порівнянні з перетворювачами з безпосереднім зв'язком.

Перетворювачі частоти з проміжною ланкою змінного струму складаються з таких компонентів (рис.2.13): випростувач, який перетворює змінну напругу в постійну В; автономний інвертор, який перетворює постійну напругу в змінну напругу проміжної частоти АІ; перетворювач частоти, який формує вихідну напругу заданої регульованої частоти або нерегульованої частоти ПЧ.

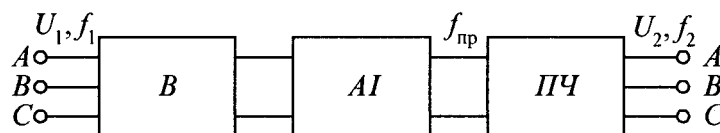


Рис.2.13. Структурна схема перетворювача частоти з проміжною ланкою змінного струму

Недоліком перетворювачів частоти з проміжною ланкою змінного струму є потрійне перетворення енергії, що відбивається на зниженні ККД перетворювача, складності силової схеми та системи керування.

Регулювання частоти в перетворювачах може здійснюватись дискретно та плавно. В перетворювачах частоти з природною комутацією частота вихідної напруги регулюється тільки вниз від частоти джерела живлення і визначається за виразами: для дискретного регулювання частоти $f_2 = (f_1 \cdot m_1) / (2 \cdot n + m_1)$; для плавного регулювання частоти $f_2 = (f_1 \cdot m_1 \cdot \pi) / ((2 \cdot n + m_1) \cdot \pi + \phi_i \cdot m_1)$. Тут m_1 –

кількість фаз джерела живлення; $\varphi_i = 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t_i$ – пауза між вимкненням однієї (анодної) та увімкненням другої (катодної) груп тиристорів; $n = 0, 1, 2, \dots$

Плавність регулювання частоти в перетворювачах з проміжною ланкою змінного струму залежить від відношення проміжної частоти до вихідної $f_{\text{ПР}} / f_2$. Чим більше це відношення, тим вища плавність регулювання частоти, рівномірніше навантаження тиристорів, легше забезпечується синусоїдна форма вихідної напруги.

Уніфіковані блоки систем регулювання. Автоматичні регулятори.
Автоматичний регулятор – пристрій (або комплекс пристроїв) в автоматичних системах керування, який під'єднаний до об'єкта та призначений для підтримання величини, що керується, на заданому рівні або зміни її у відповідності з потрібним законом керування.

Класифікація автоматичних регуляторів.

1. За видом параметра, що керується (температури, тиску, рівня та ін.).

2. За енергетичними ознаками:

- прямої дії (для їх дії використовують частину енергії від об'єкта керування);

- непрямої дії (енергія підводить зовні). Вони поділяються на:

а) електричні (електромеханічні, електронні). Переваги: простота реалізації складних схем автоматичного керування, швидкодія, виробіток та передача на далекі відстані керуючих сигналів. Недоліки: підвищена вартість, електробезпека та вибухонебезпека, необхідність обслуговування кваліфікованим персоналом.

б) пневматичні. Переваги: прості в обслуговуванні, безпечні. Недоліки: необхідність додаткових джерел живлення, інерційність, обмеженість дії в просторі – до 400м.

в) гідравлічні. Переваги: надійні, розвивають великі зусилля за переміщенням. Недоліки: обмежена дія в просторі та неможливість реалізації складних автоматичних схем.

г) комбіновані – використовуються там, де треба комбінація переваг попередніх регуляторів.

3. За конструктивними ознаками:

- апаратного типу – мають вимірювальні пристрої для контролю за дійсними значеннями величинами, що керуються;

- приладного типу – сигнал про величину, що керується, надходить на вимірювальний прилад, одночасно проходить його з заданим значенням та видається сигнал керування;

- агрегатного (блочного) типу – виконують різноманітні функціональні дії;

- модульного (елементного) типу складаються з окремих модулів і виконують прості операції.

За впливом на об'єкт (рис.2.14):

- релейні - $\tau_{об}/T_{об} < 0,2$;

- безперервні - $0,2 < \tau_{об}/T_{об} < 1,0$;

- імпульсні - $\tau_{об}/T_{об} > 1,0$.

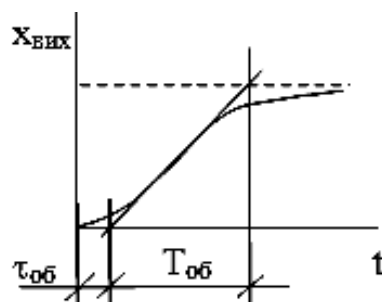


Рис.2.14. Класифікація регуляторів за впливом на об'єкт

Типові структури регуляторів:

1. Позиційні (релейні) регулятори – працюють за принципом «ввімкнуто – вимкнено» та забезпечують фіксоване положення (позицію). Положень буває одне, два, три і більше, а регулятори – двох-, трьох- та багатопозиційні. Процес позиційного регулювання – автоколивальний, тобто величина, що регулюється відносно заданого значення, періодично змінюється. Щоб зменшити період коливань зменшують зону нечутливості, але збільшують число перемикачів регулятора. В той же час зростання сталої часу збільшує період коливань і зменшує частоту перемикачів регулятора.

2. Регулятори безперервної дії – в них виконання всіх операцій здійснюється в безперервній формі. В основі їх дії лежать закони регулювання – залежність між вхідними та вихідними координатами сигналів (П, І, ІІ, ІІІ та ін. типи регуляторів).

Вибір регуляторів. Вибір регулятора залежить від властивостей об'єкта регулювання, що визначається його динамічною характеристикою.

Регулятори застосовуються:

- П-регулятор: в об'єктах з невеликим запізненням та значним навантаженням і де допускається статична похибка. П-регулятор не рекомендується при коливальному навантаженні;

- І-регулятор: на об'єктах з значним самовирівнюванням і невеликим запізненням, а також при малій і великій ємності об'єкта та при повільних змінах навантаження;

- ІІ-регулятор: в об'єктах з будь-якою ємністю, з великим запізненням ($\tau > 0,1T$), а також при великих і повільних змінах навантаження;

- ІІІ-регулятор: в об'єктах з будь-якою ємністю, при дуже малій статичній похибці регулювання та при суттєвому запізненні в об'єкті ($\tau / T = 0,2 \dots 1$).

Імпульсні регулятори: в об'єктах без великих запізнень, при середній ємності об'єкта, де навантаження постійне або мало змінюється ($\tau / T = 0,5 \dots 10$).

Двопозиційні релейні регулятори: в об'єктах з великою ємністю, без великого запізнення при постійному або малозмінному навантаженні ($\tau / T < 0,2$).

При підготовці до заходів поточного контролю рекомендовано використовувати таку літературу [4, С.315-392; 5, С.37-107; 6, С.188-216, С.266-268].

2.2.2. Контрольні запитання для самоперевірки

1. Які переваги у перетворювального агрегату з генератором постійного струму?

2. Наведіть структурну схему перетворювача частоти з проміжною ланкою постійного та змінного струму.

3. Наведіть схему однофазного безпосереднього перетворювача частоти з примусовою комутацією.

4. У яких об'єктах доцільно застосовувати П, І, ІІ та ІІІ регулятори?

5. У яких об'єктах не рекомендовано застосовувати П, І, ІІ та ІІІ регулятори?

6. У яких об'єктах доцільно застосовувати імпульсні та двопозиційні релейні регулятори?

7. Наведіть схему електричну принципову під'єднання електронного програмованого реле серії EASY512 до мережі для запуску малопотужного асинхронного двигуна з фазним ротором при наявності трьох пускових ступенів.

3. ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

3.1. Загальні вказівки

Контрольну роботу необхідно виконати в окремому зошиті, на обкладинці якого вказати: найменування дисципліни, прізвище, ім'я, по батькові, номер навчального шифру (номер залікової книжки), факультет та курс.

Розрахунки, формули та пояснювальний текст слід писати чітко і розбірливо, залишаючи на сторінці справа поля шириною близько 3 см; схеми та графіки необхідно виконувати на комп'ютері або кульковою ручкою, використовуючи креслярські інструменти (ксерокси графіків не приймаються). Умовні графічні позначення усіх елементів схем креслити згідно з вимогами ДСТУ.

В ході виконання контрольної роботи важливо також навчитися вибирати по довідниках типи елементів електричних схем. Деякі довідникові дані наведені у додатку.

3.2. Контрольна робота

3.2.1. Завдання 1

Розрахувати коефіцієнт підсилення K_n^* та обмеження вихідної напруги $U_{нас}$ підсилувача, коефіцієнт зворотного зв'язку за напругою $K_{зв}$ КП, що забезпечують статизм зовнішньої характеристики КП у номінальному режимі $\delta_{з.ном} = 1,5\%$, при умові, що КП має лінійну характеристику керування з незмінним коефіцієнтом підсилення $K_n = 5$, номінальний статизм без зворотного зв'язку $\delta_{ном} = 2,5\%$ та жорстку зовнішню характеристику ($\delta_{з.ном}$) у діапазоні

зміни струму навантаження від 0 до подвійного номінального значення $2I_{\text{ном}}$.
 Номінальна напруга $U_{\text{ном}}=115\text{В}$.

Варіанти завдання 1 наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Варіанти завдання 1

Варіант	$\delta_{z.\text{ном}}$, %	$K_{\text{П}}$	$\delta_{\text{ном}}$, %	$U_{\text{ном}}$, В
0	1,5	6	2,5	115
1	1,0	5	2,0	75
2	1,2	7	2,2	115
3	1,4	8	2,4	75
4	1,3	11	2,3	115
5	1,7	10	2,7	75
6	2,0	12	3,0	115
7	1,8	4	2,8	75
8	2,2	15	3,2	115
9	1,5	14	2,5	75

Приклад розв'язання завдання 1.

Дано: $\delta_{z.\text{ном}} = 1,5\%$; $K_{\text{П}}=5$; $\delta_{\text{ном}} = 2,5\%$; $U_{\text{ном}}=115\text{В}$.

$K_{\text{П}}^* - ? - ?$; $U_{\text{нас}} - ?$; $K_{z\text{н}} - ?$

Структурна схема керованого перетворювача (КП) наведена на рис.3.1.

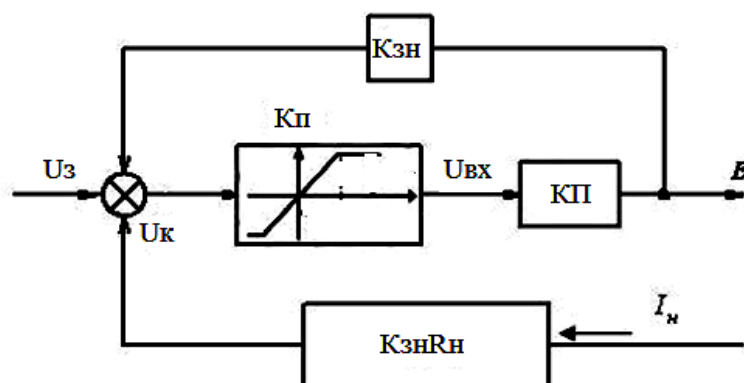


Рис.3.1. Структурна схема КП з вхідним підсилювачем та зворотним зв'язком за напругою

Так як відповідно до вихідних даних ЕРС КП без зворотного зв'язку залишається незмінною при зміні струму навантаження, то падіння напруги визначається тільки незмінним внутрішнім опором $R_{\text{П}}$ та $\delta_{\text{ном}} = I_{\text{ном}} \cdot R_{\text{П}} / E_{0\text{ном}}$.

При впливі від'ємного зворотного зв'язку за напругою зовнішня характеристика стає більш жорсткою та:

$$\delta_{\text{зном}} = \frac{1}{1 + K_{\text{п}} \cdot K_{\text{п}}^* \cdot K_{\text{зн}}} \cdot \frac{I_{\text{ном}} \cdot R_{\text{н}}}{E_{0\text{ном}}}$$

Загальний коефіцієнт підсилення по замкненому контуру напруги ($K_{\text{н}} = K_{\text{п}}^* \cdot K_{\text{п}} \cdot K_{\text{зн}}$) визначимо із співвідношення $\delta_{\text{ном}}$ та $\delta_{\text{зном}}$:

$$K_{\text{н}} = \delta_{\text{ном}} / \delta_{\text{зном}} - 1 = 2,5 / 1,5 - 1 = 0,7.$$

Так як задано $K_{\text{п}} = 5$, то можна визначити добуток:

$$(\hat{E}_{\text{і}}^* \cdot \hat{E}_{\text{сі}}) = \hat{E}_{\text{і}} / \hat{E}_{\text{і}}^* = 0,7 / 5 = 0,14.$$

Розділити коефіцієнти $K_{\text{п}}^*$ та $K_{\text{зн}}$ можна, якщо відомо номінальне значення напруги завдання $U_{\text{зном}}$. Нехай $U_{\text{зном}} = 10\text{В}$, тоді:

$$E_{0\text{ном}} = \frac{K_{\text{п}}^* \cdot K_{\text{п}}}{1 + K_{\text{н}}} \cdot U_{\text{зном}}$$

звідки:

$$K_{\text{п}}^* = \frac{E_{0\text{ном}} \cdot (1 + K_{\text{н}})}{K_{\text{п}} \cdot U_{\text{зном}}} = \frac{(1 + K_{\text{н}})}{K_{\text{п}}} \cdot \frac{U_{\text{ном}}}{1 - \delta_{\text{зном}}} \cdot \frac{1}{U_{\text{зном}}} = \frac{(1 + 0,7)}{5} \cdot \frac{115}{1 - 0,015} \cdot \frac{1}{10} = 3,96.$$

Тоді:

$$\hat{E}_{\text{сі}} = (\hat{E}_{\text{сі}} \cdot \hat{E}_{\text{і}}^*) / \hat{E}_{\text{і}}^* = 0,14 / 3,96 = 0,03.$$

Для визначення обмеження вихідної напруги підсилювача необхідно знайти максимальне значення ЕРС КП:

$$E_{\text{max}} = \frac{U_{\text{ном}}}{1 - \delta_{\text{зном}}} \cdot (1 + 2 \cdot (\delta_{\text{ном}} - \delta_{\text{зном}})) = \frac{115}{1 - 0,015} \cdot (1 + 2 \cdot (0,025 - 0,015)) = 119,08 \text{ В}.$$

$$\text{тоді } U_{\text{іân}} = \hat{A}_{\text{max}} / \hat{E}_{\text{і}} = 119,08 / 0,7 \approx 170,1 \text{ Å}.$$

Рівняння зовнішньої характеристики:

$$U = \frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{н}} + 1} \cdot \frac{U_{\text{з}}}{K_{\text{зн}}} - \frac{I_{\text{н}} \cdot R_{\text{н}}}{K_{\text{н}} + 1} = \frac{0,7}{0,7 + 1} \cdot \frac{U_{\text{з}}}{0,03} - \frac{I_{\text{н}} \cdot R_{\text{н}}}{0,7 + 1} = 13,7 \cdot U_{\text{з}} - \frac{R_{\text{н}}}{1,7} \cdot I_{\text{н}}.$$

3.2.2. Завдання 2

Визначити, як зміниться статизм зовнішньої характеристики КП з даними завдання 1 (п.3.2.1), якщо увести додатково додатний зворотний зв'язок за напругою на рівні $2 \cdot I_{\text{ном}} = \text{const}$.

Приклад розв'язання завдання 2.

Таким чином, керований перетворювач за умовою завдання повинен мати два зворотних зв'язка за напругою: від'ємний, що діє через вхідний підсилювач з обмеженням, як це наведено на рис.3.1, та додатний, що уводиться безпосередньо на вхід КП.

Тоді при критичному налагодженні зворотного зв'язку відповідно $K_{\text{знк}} = 1/K_{\text{п}}^* \cdot K_{\text{п}}$ буде $K_{\text{з.н.2}} = 1/K_{\text{п}} = 1/5 = 0,2$.

Перетворювач, що охоплений таким зв'язком, набуває властивостей джерела струму з характеристикою:

$$I_i^2 = U_{\hat{\Delta}\hat{\Delta}} / (\hat{E}_{\varphi.i.2} \cdot R_i).$$

Для заданого струмообмеження $I_{\text{н}} = 2 \cdot I_{\text{ном}}$ вхідна напруга КП, тобто вихідна напруга підсилювача, набуває значення:

$$U_{\hat{\Delta}\hat{\Delta}.max} = U_{i\hat{\Delta}\hat{\Delta}} = 2 \cdot I_{i\hat{\Delta}\hat{\Delta}} \cdot \hat{E}_{\varphi.i.2} \cdot R_i = \frac{1}{1 - \delta_{\varphi.i.i}} \cdot U_{i\hat{\Delta}\hat{\Delta}} \cdot \hat{E}_{\varphi.i.2} = \frac{1}{1 - 0,015} \cdot 115 \cdot 0,2 = 23,4 \text{ \AA}$$

Визначимо зовнішню характеристику КП з врахуванням одночасного впливу від'ємного та додатного зворотних зв'язків:

$$U_{\text{вх}} = K_{\text{п}}^* \cdot (U_3 \cdot K_{\text{з.н.1}} \cdot E_{\text{п}} + K_{\text{з.н.1}} \cdot I_{\text{н}} \cdot R_{\text{п}}) = K_{\text{з.н.2}} \cdot I_{\text{н}} \cdot R_{\text{п}}, \text{ тобто}$$

$$E_{\text{п}} = \frac{U_3}{K_{\text{з.н.1}}} + I_{\text{н}} \cdot R_{\text{п}} \cdot \left(1 - \frac{K_{\text{з.н.2}}}{K_{\text{п}}^* \cdot K_{\text{з.н.1}}}\right),$$

$$U = \frac{U_3}{K_{\text{з.н.1}}} - \frac{K_{\text{з.н.2}}}{2 \cdot K_{\text{п}}^* \cdot K_{\text{з.н.1}}} \cdot I_{\text{н}} \cdot R_{\text{п}} = \frac{U_3}{K_{\text{з.н.1}}} - \frac{0,2 \cdot I_{\text{н}} \cdot R_{\text{п}}}{2 \cdot 0,14} = \frac{U_3}{K_{\text{з.н.1}}} - \frac{R_{\text{п}}}{1,4} \cdot I_{\text{н}}.$$

Порівнюючи робочі ділянки зовнішніх характеристик в завданнях 1 та 2, відмічаємо, що уведення додаткового додатного зв'язку з критичним налагодженням підвищується статизм на $6,6/4,24=1,56$ разів при зниженні напруги завдання у $100/33,4=3$ рази. Однак одночасно забезпечується надійне обмеження струму на рівні $2 \cdot I_{\text{ном}}$ при умові зменшення обмеження напруги підсилювача до $U_{\text{нас}} = 33,4 \text{ В}$.

3.2.3. Завдання 3

Розрахувати коефіцієнт підсилення та мінімальний опір у зоні переривчастих струмів ТП, що має наступні дані: індуктивність навантаження $L_d = 0$; максимальне значення лінійно змінної опорної напруги $U_{\text{пм}} = 10 \text{ В}$; кутовий інтервал робочої ділянки опорної напруги $\varphi = 300^\circ$; номінальна вторинна напруга трансформатора $U_{2.\text{л.ном}} = 208 \text{ В}$; напруга короткого замикання трансформатора $U_k = 4,75\%$; відносні втрати потужності короткого замикання трансформатора $\Delta P_k / S_{\text{ном}} = 3,75\%$; напруга мережі $U_{\text{м.ном}} = 380 \text{ В}$; потужність трансформатора $S_{\text{ном}} = 7,7 \text{ кВА}$. Схема ТП – трифазна.

Вихідні дані для завдання 3 наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Вихідні дані до завдання 3

Варіант	L_d	$U_{\text{пм}}, \text{ В}$	$\varphi, ^\circ$	$U_{2.\text{л.ном}}, \text{ В}$	$U_k, \%$	$\Delta P_k / S_{\text{ном}}, \%$	$U_{\text{м.ном}}, \text{ В}$	$S_{\text{ном}}, \text{ кВА}$
0	0	10	280	206	4,5	3,75	380	6,3
1	0	10	250	208	4,7	3,83	380	7,3
2	0	10	300	206	4,5	4,22	380	6,3
3	0	10	230	207	4,8	3,78	380	7,3
4	0	10	310	205	4,4	3,36	380	6,3
5	0	10	220	208	4,3	3,75	380	7,3
6	0	10	290	210	4,9	3,48	380	6,3
7	0	10	285	209	4,5	3,67	380	7,3
8	0	10	305	204	4,7	3,98	380	6,3
9	0	10	235	210	4,2	3,56	380	7,3

Приклад розв'язання завдання 3.

Трифазна схема ТП наведена на рис.3.2.

Схема на рис.3.2 – найпростіша схема, з самим великим рівнем пульсацій, частота $3 \cdot f_m = 150 \text{ Гц}$. Струм I_d додатково підмагнічує трансформатор, що вимагає збільшення габаритів трансформатора. Для двигунів до 1-10кВт:

$$E_{d0} = E_{2m} \cdot \frac{3}{3,14} \cdot \sin \frac{\pi}{3} = 0,83 \cdot E_m = \sqrt{2} \cdot 0,83 \cdot E_2 = 1,17 \cdot E_2, \text{ тоді}$$

$$E_{d0} = 1,17 \cdot E_2 = 1,17 \cdot \frac{208}{\sqrt{3}} = 141 \text{ В.}$$

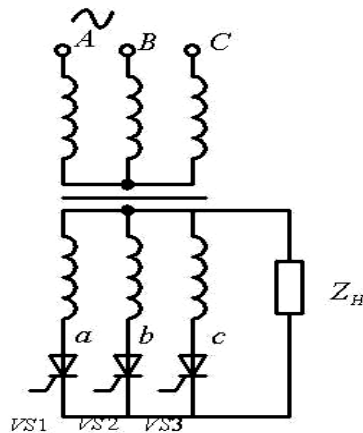


Рис.3.2. Трифазна схема ТП

$$E_d = 141 \cdot \sin \frac{10}{6} \cdot \pi \cdot \frac{U_k}{20}.$$

Для малих значень U_k , коли:

$$\sin \frac{10}{6} \cdot \pi \cdot \frac{U_k}{20} \approx \frac{10}{6} \cdot \pi \cdot \frac{U_k}{20}.$$

Коефіцієнт підсилення ТП.

$$k_n = 141 \cdot \frac{10}{6} \cdot \pi \cdot \frac{1}{20} \approx 37.$$

Це значення k_n відповідає дотичній до синусоїдальної характеристики керування ТП та дає зростаючу похибку зі зростанням U_k . Максимальна похибка має місце при $U_k = U_{k \max} = 6 \text{ В.}$

$$\sin \frac{10}{6} \cdot \pi \cdot \frac{U_{k \max}}{20}.$$

$$\delta = \frac{k_i \cdot U_{\hat{e} \max} - E_{d0}}{E_{d0}} = \frac{37 \cdot 6 - 141}{141} = 0,57.$$

Тобто 57%. Більш точна апроксимація суносоїдальної характеристики на інтервалі кутів $0 - 90^\circ$ усередненим значенням k_n , що визначений для кута

$$\sin \frac{10}{60} \cdot \pi \cdot \frac{U_k}{20} \approx \frac{\pi}{3}, \text{ тобто для } U_k = 4 \text{ В.}$$

Для даної лінеаризації:

$$k_n = (141 \cdot \sin \frac{\pi}{3}) / 4 = 30,5,$$

та в діапазоні зміни $U_k = 0 - 4,6$ В похибка за вихідною напругою не перевищує 20%.

Для визначення мінімального внутрішнього опору ТП у зоні переривчастих струмів можна користуватися виразом:

$$\sin\left(\lambda + \alpha - \frac{\pi}{m}\right) - \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{m}\right) = \lambda \cdot \frac{E}{E_{2m}}$$

для границі переривчастих струмів. Тоді з врахуванням $\lambda = \frac{2 \cdot \pi}{m}$

та $L_d = 0$:

$$R'_{dn} = \frac{3}{\pi} \cdot X_{2T}$$

Порівняння останнього опору з опором від перекриття вентилів R_{II} показує:

$$R_{II} = \frac{3}{2 \cdot \pi} \cdot X_{2T}, \text{ що}$$

R'_{dn} у два рази більше за R_{II} .

Так як:

$$R_{2T} = \frac{\Delta P_k}{3 \cdot I_{2H}^2} \approx \frac{\Delta P_k}{S_{НОМ}} \cdot \frac{U_{2Л.НОМ}}{\sqrt{3} \cdot I_{2H}} = 0,0375 \cdot \frac{208}{\sqrt{3} \cdot 21,4} = 0,21 \text{ Ом},$$

де

$$I_{2НОМ} = S_{н.тр} / \sqrt{3} U_{2Л.НОМ} = 7700 / \sqrt{3} 208 = 21,4 \text{ А.}$$

$$Z_{2T} = U_k \cdot \frac{U_{2Л.НОМ}}{\sqrt{3} \cdot I_{2НОМ}} = 0,0475 \cdot \frac{208}{\sqrt{3} \cdot 21,4} = 0,27 \text{ Ом.}$$

$$X_{2T} = \sqrt{Z_{2T}^2 - R_{2T}^2} = \sqrt{0,27^2 - 0,21^2} = 0,17 \text{ Ом.}$$

Як наслідок, невідомий опір:

$$R'_{dn} = \frac{3}{\pi} \cdot X_{2T} = \frac{3}{3,14} \cdot 0,17 = 0,16 \text{ Ом.}$$

3.2.4. Завдання 4

Згідно з вихідним даними варіантів (0...9) таблиці 3.3 та паспортним даним обраного при цьому трансформатора (таблиця 3.4), для напруги мережі $U_i = 380\text{В}$ необхідно:

- розрахувати та побудувати графіки статичних характеристик тиристорного перетворювача ($\alpha = f_1(U_\delta)$, $U_d = f_2(\alpha)$, $\dot{A}_d = f_3(U_\delta)$, $\dot{A}_d = f_4(I_d)$);

- розрахувати коефіцієнт перетворення тиристорного перетворювача і його постійну часу.

Таблиця 3.3

Вихідні дані до завдання 4

Початкові дані	Позначення, розмірність	Номери варіантів									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип ДПС	П	П11	П31	П41	П51	П61	П62	П72	П81	П91	П101
Потужність	P_n , кВт	0,7	3,2	1,0	6,0	4,5	8	10	32	55	42
Частота обертання	n_n , об/хв	3000	3000	750	1500	750	1000	750	1500	1500	750
Струм якоря	$I_{ян}$, А	4,3	17,5	6,8	33,2	26	43	58	166	287	222

Етапи розрахунку завдання 4.

Вибір силового трансформатора здійснюється за потужністю $S_{тр}$ і номінальною напругою U_2 його вторинної обмотки. Потужність трансформатора визначається номінальною потужністю двигуна $P_{дв.н}$ і його ККД $\eta_{дв}$, тобто:

$$S_{тр} \geq \frac{P_{дв.н}}{\eta_{дв}}$$

Напруга U_2 вибирається з умови:

$$U_{2л} = \frac{U_{d0}}{k^*} = \frac{(1,1 \div 1,3)U_{ян}}{k^*},$$

де U_{d0} – максимальна випрямлена напруга ТП при куті керування $\alpha = 0$;

K – коефіцієнт, що залежить від обраної схеми з'єднання тиристорів перетворювача.

Для трифазної нульової схеми ТП $K^* = 1,17$, а для трифазної симетричної мостової схеми $K^* = 1,35$. Тоді номінальна фазна напруга $U_{2\phi}$ для нульової схеми і лінійна напруга $U_{2л}$ для мостової схеми будуть відповідно

$$U_{2\phi} = U_{d0}/1,17, \quad U_{2л} = U_{d0}/1,35.$$

Відповідно до розрахованих значень $S_{тр}$ і $U_{2л}$ вибирається тип силового трансформатора зі своїми параметрами із таблиці 3.4.

У таблиці 3.4 наведені наступні параметри силового трансформатора: номінальні потужність S_n та напруга обмотки мережі U_m , номінальні напруга $U_{2л}$ та струм I_2 вентильної обмотки, напруга U_d та струм I_d перетворювача, втрати потужностей холостого ходу P_{xx} та короткого замикання $P_{кз}$, струм холостого ходу I_{xx} , напруга короткого замикання U_k %, габаритні розміри L , B і H , а також маса $m_{тр}$.

У даному індивідуальному завданні необхідно розрахувати і побудувати графіки характеристик: керування випрямляча, керування СІФК, керування ТП та зовнішньої. Розрахунок здійснюється згідно з наведеними виразами, результати розрахунків зводяться у таблиці, за даними яких будуються графіки характеристик та робляться висновки. Аналітичні вирази характеристик залежать від форми опорної напруги ТП. У даному випадку надані розрахункові співвідношення для характеристик з лінійною опорною напругою ТП з роздільним керуванням.

Характеристика керування випрямляча – залежність ЕРС керованого випрямляча від кута включення:

$$U_d = E_{d0} \cdot \cos \alpha = E_{2m} \cdot \frac{m}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{m} \cdot \cos \alpha,$$

де E_{2m} і m – амплітуда ЕРС та число фаз вторинної обмотки трансформатора.

Таблиця 3.4

Паспортні дані силових трансформаторів

Тип трансформатора	S_H , кВА	U_M , В	Вентильна обмотка		Перетворювач		Втрати потужності		U_K , %	I_{XX} , %	Габаритні розміри			Маса $m_{тр}$, кг
			$U_{2л}$, В	I_2 , А	U_d , В	I_d , А	P_{XX} , Вт	P_{K3} , Вт			L, мм	B, мм	H, мм	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ТСП-10/0,7-УХЛ4	7,3	380	205	20,5	230	25	130	320	4,7	16	625	305	315	85
		500												
		660												
ТСП-10/0,7-УХЛ4	7,3	380	205	20,5	230	25	130	320	4,7	16	660	400	380	100
		660												
ТСП-16/0,7-УХЛ4	14,6	380	205	41	460	50	140	550	5,2	10	625	305	385	120
		500												
		660												
		380												
ТСП-16/0,7-УХЛ4	14,6	660	410	20,5	230	25	140	550	5,2	10	625	305	385	120
		380												
		500												
		660												
ТСП-25/0,7-УХЛ4	29,1	380	205	82	230	100	210	1100	5,5	8	645	355	505	160
		500												
		660												
		380	410	41	460	50								
		660												
ТСП-63/0,7-УХЛ4	58	380	204	164	230	200	330	1900	5,5	6	745	405	645	270
		500												
		660												
		380	410	82	460	100								
		660												
ТСП-100/0,7-УХЛ4	93	380	205	202	230	320	440	2300	5,8	6	865	405	680	405
		660												
ТСП-125/0,7-УХЛ4	117	380	410	164	460	200	520	2700	5,8	4	865	405	730	450
		660												

Характеристика керування СІФК має вигляд

$$\alpha = f(U_{\hat{e}}) = \frac{\pi}{2} - \frac{\phi_{\hat{e}}}{2U_{im}} U_{\hat{e}},$$

де ϕ_{π} – кутовий інтервал лінійної робочої ділянки пилкоподібної опорної напруги; $U_{\pi m} = 12.5 \text{ В}$ – максимальне значення опорної напруги; $U_{\kappa} = \pm 10 \text{ В}$ – напруга керування на вході СІФК.

Розрахунок виконувати для трьох значень інтервалу $\phi_{\pi} = 255, 280, 305$ град.

Характеристика керування (регулювання) ТП – залежність ЕРС перетворювача від напруги керування, розраховується відповідно до співвідношення

$$E_d = f(U_{\kappa}) = E_{d0} \sin\left(\frac{\phi_{\pi}}{2U_{\pi m}} U_{\kappa}\right),$$

де $E_{d0} = 1,35 \cdot U_{2\pi \text{ ном}}$, а розрахунки зробити для тих же трьох значень кута ϕ_{π} ;

Зовнішня характеристика ТП – залежність ЕРС перетворювача від струму навантаження

$$E_d = f(I_d) = E_{d0} \cos \alpha - \left(R_{\delta} + \frac{X_{\delta} \hat{\omega}}{2\pi/m}\right) I_d - \Delta U_{\delta},$$

де R_T - активний опір трансформатора

$$R_T = \Delta P_{MT} / I_{дн}^2;$$

ΔU_T - падіння напруги на тиристорі (приймається рівним $1 \div 2 \text{ В}$);

I_d – струм навантаження, змінюється в межах від 0 до $\pm I_{\max}$;

α - кут включення тиристорів (мінімальний $\alpha_{\min} = 15^{\circ} \div 30^{\circ}$, максимальний $\alpha_{\max} = 150^{\circ} \div 160^{\circ}$).

Розрахунки зробити для значень кута $\alpha = 30^{\circ}, 60^{\circ}, 90^{\circ}, 120^{\circ}, 150^{\circ}$.

Постійна часу ТП визначається як сума постійних часу СІФК і вентильних груп керованого випрямляча і на практиці приймаються:

$$\tau = \tau_{\text{кв}} + \tau_{\text{ск}} = \frac{1}{f \cdot m} + (0,007 \div 0,01),$$

де m – число фаз; f – частота напруги мережі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник. – Київ.: Либідь, 2005. – 608 с.
2. Попович М.Г., Гаврилюк В.А., Ковальчук О.В. та ін. Елементи автоматизованого електропривода. –К. : УМК ВО, 1990. – 260с.
3. Терехов В.И. Элементы автоматизированного электропривода: Учебник. –М. : Энергоатомиздат, 1987. – 227 с.
4. Казачковський М.М. Комплектні електроприводи: Навч. посібник. – Дніпропетровськ: НГУ, 2003. – 226 с.
5. Подлесный Н.Н., Рубанов В.Г. Элементы систем автоматического управления и контроля: Учебник. – 2-е изд. – Киев: Вища школа, 1982. – 477с.
6. Справочник по автоматизированному электроприводу./ Под ред. В. А. Елисеєва и А. В. Шинянского – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
7. Кажан В.Є., Ніколенко А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Автоматизований електропривод” для студентів спеціальностей: 7.092203, 7.092501 – Дніпропетровськ: ДМетАУ, 2005. – 30 с.
8. Кажан В.Є. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Елементи автоматизованого електропривода”. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2003. – 43с.
9. Коновалов Л.И., Петелин Д.П. Элементы и системы электроавтоматики: Учебн. пособие. – М.: Высшая шк., 1980. – 192 с.
10. Попович Н.Г. и др. Автоматизация производственных процессов и установок: Учебн. пособие. – К.: Вища школа., 1988. – 348 с.
11. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник. –М.: энергоатомиздат, 1986. – 416 с.
12. Фотиев М.М. Электроприводы и электрооборудование металлургических цехов: Учебник. 3-е изд. –М. : Металлургия, 1990. -352с.
13. Фишбейн В.Г. Расчет систем подчиненного регулирования вентильного электропривода постоянного тока. –М. : Энергия, 1972. -136с.
14. Перельмутер В. М. и др. Тиристорные электроприводы прокатных станов. М., Металлургия, 1978. – 152 с.
15. Карлашук В. И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. Изд. 3-е, переработанное и дополненное. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 736 с.: ил. – (Серия «Системы проектирования»).
16. Андрищенко О. А., Водичев В. А. Электронные программируемые реле EASY и MFD-Titan. Украина, Одесса, 2006г. – 223 с.
17. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/ [М. П. Белов, О. И. Зементов, А. Е. Козярук и др.]; под ред. В. А. Новикова, Л. А. Чернигова. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.

ЗМІСТ

1. РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ЕЛЕМЕНТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ».....	3
1.1. Розподіл навчальних годин (заочна форма навчання).....	3
1.2. Характеристика дисципліни.....	4
1.3. Зміст дисципліни за темами, теоретичний курс.....	5
2. ЗМІСТ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЗА ТЕМАМИ ДИСЦИПЛІН.....	6
2.1. Тема 1. Керуючі елементи автоматизованого електроприводу.....	6
2.1.1. Зміст та методичні вказівки до теми 1.....	6
2.1.2. Контрольні запитання для самоперевірки.....	24
2.2. Тема 2. Силові елементи автоматизованого електроприводу.....	25
2.2.1. Зміст та методичні вказівки до теми 2.....	25
2.2.2. Контрольні запитання для самоперевірки.....	31
3. ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ.....	32
3.1. Загальні вказівки.....	32
3.2. Контрольна робота.....	32
3.2.1. Завдання 1.....	32
3.2.2. Завдання 2.....	35
3.2.3. Завдання 3.....	36
3.2.4. Завдання 4.....	39
ЛІТЕРАТУРА.....	43