

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЙ
ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

В.І. Гудим, А.П. Кушнір

**ОСНОВИ ВИРОБНИЧОЇ І ПРОТИПОЖЕЖНОЇ
АВТОМАТИКИ**

Львів 2016 р.

ББК 31.2, 32.965, 38.96
УДК 681.5, 62-5, 614.842

Гудим Василь Ількович, Кушнір Андрій Петрович.

Основи виробничої і протипожежної автоматики : [навчальний посібник] / В.І. Гудим, А.П. Кушнір. – Львів : ЛДУ БЖД, 2015. – 1 ___ с.

Рецензенти: завідувач кафедри управління інформаційної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, д.т.н., професор Самотий В.В.; професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Інституту комп'ютерних технологій, автоматики і метрології Національного університету "Львівська політехніка", д.т.н., професор Яцишин С.П.

Навчальний посібник призначений для курсантів та студентів за напрямом підготовки "Пожежна безпека" і написаний у відповідності до робочої програми з дисципліни "Пожежна і виробнича автоматика". Посібник складається з шести розділів в яких наведено основні терміни та визначення, принципи побудови та класифікацію систем автоматичного керування, основи лінійної теорії автоматичного керування та закони керування, які необхідні для розуміння побудови систем керування. Описано пристрої збору і перетворення інформації, які використовуються у виробничій та пожежній автоматиці, автоматичні регулятори та їх передавальні і перехідні функції, типові виконавчі приводи та перетворювачі електричної енергії, які використовуються в побудові систем автоматичного керування. Крім того, подано основні відомості про автоматизацію помпових установок для пожежогасіння, а також схеми керування електроприводами помпових станцій водяного та пінного пожежогасіння і схеми електроживлення систем пожежної автоматики.

Посібник може бути корисний для спеціалістів які працюють в галузі пожежної безпеки, зокрема займаються експлуатацією систем протипожежного захисту.

Рекомендовано Вченою радою
Львівського державного університету безпеки життєдіяльності
Протокол № 7 від "22" квітня 2015р.

АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.	
5.1. Електрогідравлічні приводи.	
5.2. Електропневматичні приводи.	
5.3. Електричні приводи.	
5.4. Засади керування електроприводами.	
5.5. Класифікація перетворювачів електричної енергії.	
5.6. Напівпровідникові перетворювачі напруги.	
5.7. Імпульсні напівпровідникові перетворювачі напруги.	
5.8. Напівпровідникові перетворювачі частоти.	
5.8.1. Безпосередні перетворювачі частоти.	
5.10.2. Перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму.	
5.9. Передавальні пристрої електроприводів.	
РОЗДІЛ 6. ЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ТА ПІННОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ.	
6.1. Основні відомості про помпові установки.	
6.2. Системи автоматизації помпових установок.	
6.3. Споживання енергії помповими установками.	
6.4. Способи керування електроприводами змінного струму для помпових установок.	
6.5. Електрообладнання помпових станцій пінного і водяного пожежогасіння.	
6.6. Схеми керування електроприводом помп водяного і пінного пожежогасіння.	
6.7. Схеми керування електроприводом засувки водяного і пінного пожежогасіння.	
6.8. Схема керування електроприводом компресора.	
6.9. Схеми керування електроживленням систем пожежогасіння.	

ВСТУП

Розвиток виробництва ґрунтується на науково-технічному прогресі і потребує розроблення та впровадження нових підходів, способів та методів організації виробництва. В суспільстві вже давно визначено, що **наука** – це особливий вид людської діяльності, яка спрямована на продукування нових знань про природу, суспільство та мислення. Під поняттям техніка розуміють сукупність засобів праці, що використовуються у виробничих цілях та для задоволення особистих потреб людини. Нові знання матеріалізуються в нових засобах праці і техніки, задоволення одних потреб породжує інші. З'являються нові ідеї та розробки, які дають змогу створювати досконалішу техніку, покращувати технологічний процес виробництва.

Науково-технічний прогрес, у буквальному розумінні, означає безперервний процес розвитку науки і техніки; у ширшому значенні – це постійний процес створення нових і вдосконалення існуючих технологій та засобів виробництва з використанням досягнень науки. Науково-технічний прогрес можна тлумачити також як процес нагромадження та практичної реалізації нових наукових і технічних знань, цілісну циклічну систему “наука-техніка-виробництво”, що охоплює кілька стадій: фундаментальні теоретичні дослідження, прикладні науково-дослідні роботи, дослідно-конструкторські розробки, освоєння технічних нововведень, нарощування виробництва нової техніки і її експлуатація протягом певного періоду, їхня постійна заміна новими ефективнішими зразками.

Сьогодні основою автоматизації виступає комп'ютерна техніка, яка все більш широко використовується не тільки для автоматизації виробництва, але і в самих різних його сферах. Подібне залучення обчислювальної і мікроелектронної техніки в діяльності різних виробничих систем називається комп'ютеризацією виробництва.

Комп'ютеризація - це основа технічного переозброєння виробництва, необхідна умова підвищення його ефективності. На базі комп'ютерів і мікропроцесорів створюються технологічні комплекси, машини і обладнання, вимірвальні, регулюючі і інформаційні системи, ведуться проектно-конструкторські роботи і наукові дослідження, здійснюється інформаційне обслуговування, навчання і багато іншого, що забезпечує підвищення суспільної і індивідуальної продуктивності праці, створення умов для всебічного і гармонійного розвитку особис-

тості. Але усе це не можливо без знань основ побудови систем керування та техніки, законів керування тощо.

Поділ автоматики на **виробничу** та **пожежну** є суто умовний. Усі елементи і пристрої, які використовуються у виробничій автоматичній, використовують і у пожежній автоматичній. Закони, які описують певні процеси, діють у всіх сферах. Це так само, як наприклад, говорити, що є пожежна і виробнича фізика. Під поняттям “пожежа автоматика” розуміють: різного роду елементи і пристрої, які використовуються для забезпечення пожежної безпеки об’єктів та людей.

Сьогодні уже в поняття “пожежа автоматика” входять **системи протипожежного захисту**. Активне впровадження систем протипожежного захисту на об’єктах різних галузей господарства дає змогу зберегти життя сотень людей, запобігти пошкодженню та знищенню вогнем матеріальних цінностей. В сучасному виробництві та побуті усі системи керування є інтегровані між собою і ні одна не виступає як незалежна від інших систем.

Даний навчальний посібник дає лише основи, загальні уявлення про автоматизацію виробництва, системи керування, типи приводів тощо. Він як азбука, яка необхідна для подальшого вивчення процесів технічного оснащення виробництва і ґрунтується на матеріалах провідних науковців, які працювали і працюють в даній області.

3.6.	Диференціальний регулятор (Д-регулятор)
3.7.	Аперіодична ланка першого порядку (А-регулятор)
РОЗДІЛ 4. ПРИСТРОЇ ЗБОРУ І ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.	
4.1.	Основні відомості про чутливі елементи та датчики.
4.2.	Вимірювання лінійних розмірів.
4.2.1.	Контактні перетворювачі (датчики).
4.2.2.	Реостатні і потенціометричні датчики.
4.2.3.	Тензометричні давачі.
4.2.4.	Індуктивні датчики.
4.2.5.	Ємнісні датчики.
4.3.	Датчики швидкості.
4.3.1.	Тахогенератор постійного струму.
4.3.2.	Асинхронний тахогенератор.
4.3.3.	Імпульсні датчики швидкості.
4.4.	Датчики переміщення.
4.4.1.	Сельсин.
4.4.2.	Синусно-косинусний обертовий трансформатор.
4.4.3.	Фотоелектричні датчики переміщення.
4.5.	Вимірювання температури.
4.6.	Вимірювання рівня рідини.
4.7.	Вимірювання сил і напружень тензометричними методами.
4.8.	Вимірювання тиску і сили за допомогою вимірювальних перетворювачів.
4.9.	Вимірювання параметрів механічних коливань.
4.10.	Вимірювання інтенсивності потоків.
4.11.	Вимірювання потоку тепла.
4.12.	Датчик витрати повітря.
4.13.	Датчики постійного струму і напруги.
4.15.1.	Функціональна схема датчиків струму і напруги.
4.15.2.	Вхідні кола датчиків струму і напруги.
4.15.3.	Огляд інших способів контролю струму.
4.14.	Датчик активного струму.
РОЗДІЛ 5. ВИКОНАВЧІ ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМ	

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ВИРОБНИЧА АВТОМАТИКА ЯК ЕЛЕМЕНТ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ.	
1.1. Основні поняття та визначення.	
1.2. Особливості функціонування технологічних систем.	
1.3. Принципи побудови та класифікація систем автоматичного керування.	
1.4. Типи замкнених систем автоматичного керування.	
РОЗДІЛ 2. ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.	
2.1. Елементи систем автоматичного керування.	
2.2. Передавальні функції елементів.	
2.3. Способи з'єднання елементів та їх еквівалентні передавальні функції.	
2.4. Перенесення передавальних функцій через вузли сумування та розгалуження сигналів.	
2.5. Часові характеристики.	
2.6. Основні показники якості перехідних процесів.	
2.7. Типові ланки САК.	
2.8. Передавальні і перехідні функції типових ланок.	
2.8.1. Безінерційна, або пропорційна ланка.	
2.8.2. Інтегруюча ланка.	
2.8.3. Диференційна ланка.	
2.8.4. Аперіодична ланка першого порядку.	
2.8.5. Аперіодична ланка другого порядку.	
2.9. Передавальна функція системи автоматичного регулювання.	
2.10. Закони регулювання.	
РОЗДІЛ 3. АВТОМАТИЧНІ РЕГУЛЯТОРИ ДЛЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ.	
3.1. Операційні підсилювачі.	
3.2. Загальна схема і передавальна функція регулятора.	
3.3. Пропорційний регулятор (П-регулятор).	
3.4. Інтегральний регулятор (І-регулятор).	
3.5. Пропорційно-інтегральний регулятор (ПІ-регулятор).	

РОЗДІЛ 1

ВИРОБНИЧА АВТОМАТИКА ЯК ЕЛЕМЕНТ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

1.1. Основні поняття та визначення

В певних літературних джерелах існує багато визначень та пояснень, які дають відповідь на питання: Що таке автоматика? Що таке автоматизація? В час стрімкого розвитку новітніх технологій і впровадження їх у побут та виробничий процес, ці визначення можуть змінювати формулювання, але за суттю залишаються незмінними, тому наведемо основні з цих визначень [1].

Автоматизація – це процес технічного забезпечення керування технологічними параметрами, який характеризує звільнення людини не лише від фізичної праці для виконання тих або інших дій, але і від оперативного керування механізмами, що виконують ці дії.

Можна дати і інше визначення автоматизації.

Автоматизація – це процес впровадження технічних засобів, що керують технологічними або іншими процесами поза безпосередньою участю людини.

Таким чином, автоматизація проходить певні етапи, ступені, які характеризуються досягненнями науки і техніки та визначаються вдосконаленням технологічних параметрів.

За ступенем автоматизації розрізняють об'єкти з частковою і повною, або її ще називають комплексною автоматизацією.

Часткова автоматизація – автоматизація частини операції з керування виробничим процесом за умови, що решта операцій виконується працівниками. Наприклад, коли керування технологічними параметрами здійснюється на окремих агрегатах, механізмах, вузлах і т.д. у процесах даного виробництва, а зв'язок між ними забезпечує безпосередньо людина.

Повна або комплексна автоматизація характеризується автоматичним виконанням основних функцій для забезпечення виробничого процесу без безпосереднього втручання людини в режими роботи технологічного устаткування. У обов'язки людини входять лише функції налагодження механізмів (машин) або групи механізмів (машин), включення і контролю. Однак останнім часом усі ці функції, так звані допоміжні операції, виконують, згідно з попередньо розробленими програмами і режимами, за допомогою різних автоматичних пристроїв (контролерів, процесорів), які об'єднують загальною системою керування.

Отже, визначення автоматизації може змінюватися залежно від науково-технічного прогресу.

Автоматизація – це вища форма механізації, але разом з цим – це нова форма виробництва, а не проста заміна ручної праці механічною. Для цього слід уникати використання традиційних конструктивних схем, не просто, наприклад, дублювати рухи руки працівника в механізмах, а шукати нові рішення, використовуючи можливості автоматичних пристроїв.

Автоматизація стосується не лише виробництва, а й усіх сфер людської діяльності. Людина не мислить себе без пристроїв, які самі виконують роботу, наприклад, відкривають ворота, закривають жалюзи, включають освітлення і т.д., хоча й не задумується над цим, як це здійснюється.

Р.С. Автоматизація — складний процес, який охоплює безліч галузей: технічних, наукових, соціальних, економічних і т. ін., ставить їх в якусь єдність, де суперечливі положення поєднуються в доцільності, обумовленій діалектикою процесу. Закони, які діють в суспільстві, повністю відображаються у законах керування і навпаки. Принципи, які закладаються для побудови систем керування, є закладені і у побудові суспільства. Можна окремо виділити і психологічні проблеми, які уже виникають, а в майбутньому усе більше з цим буде стикатися людина, зі сприйняттям самої суті автоматизації, автоматизації. Адже не кожна людина може змиритися з тим, що навколо неї будуть автомати, пристрої, які самі будуть виконувати певні дії і замінити її майже в усьому, а така сутність людини як фізична праця перестане існувати. А можливо, що для деяких людей не лише фізична праця перестане існувати, а й розумова. З автоматизацією змінюється сприйняття людиною часу. Наприклад, взяти подорожі людини, які відбувалися в XIX і XX ст., затрати часу на певний вид роботи і т.д. Усе це і ще багато інших проблем висвічується в такому напрямі філософії, як філософія техніки, що почала дуже стрімко розвиватися в 20 ст.

Автоматика – це галузь науки і техніки, яка поєднує теорію автоматичного керування з принципами побудови автоматичних систем і утворюючих їх технічних засобів.

Задачею автоматики як науки є розробка принципів і засобів, необхідних для керування технологічними об'єктами без прямої участі людини. У більш широкому розумінні автоматика є одним із розділів кібернетики – науки про загальні закони керування як у живій, так і в неживій природі.

РОЗДІЛ 2 ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

2.1. Елементи систем автоматичного керування

Елемент – це пристрій, який входить до складу системи автоматичного керування чи електротехнічної системи як функціонально-конструктивна одиниця, яка виконує визначені функції керування та має відносно прості залежності між його вхідними і вихідними величинами. Елемент є конструктивно завершеним технічним пристроєм. Він може бути простим за своїми зовнішніми ознаками, але за принципом побудови чи способом дії може мати досить складну фізичну структуру.

У загальному випадку, елемент системи можна зобразити простою структурною схемою, показаною на рис. 2.1, і описати диференціальним рівнянням вигляду:

$$F(\ddot{y}, \dot{y}, y) = G(\dot{x}, x, f).$$

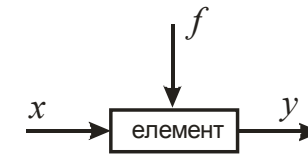


Рисунок 2.1 – Структурна схема елемента

За енергетичною ознакою елементи можна розділити на:

- силові елементи;
- елементи керування.

Силові елементи – це елементи, через які проходить основний потік енергії, який перетворюється ними і передається до виконавчого органу об'єкта керування. До них відносяться:

- керовані перетворювачі;
- електричні, гідравлічні, пневматичні двигуни;
- механічні перетворювачі;
- робочі органи виробничих механізмів.

Керовані перетворювачі подають електричну енергію до двигунів і за функціональною ознакою їх можна поділити на:

- перетворювачі напруги (джерела напруги);
- перетворювачі струму (джерела струму);
- перетворювачі частоти.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення:
Що таке автоматика? Що таке автоматизація? Види автоматизації.
2. Дайте визначення:
Що таке теорія автоматичного керування? Що таке система автоматичного керування?
3. Основні принципи побудови технологічних систем.
4. Нарисуйте функціональну схему сучасного автоматизованого технологічного комплексу.
5. Які завдання вирішує контролер приводу?
6. Які завдання вирішує технологічний контролер?
7. Які ви знаєте принципи керування системами? Дати пояснення.
8. Поняття розімкнутої та замкнутої системи автоматичного керування. Їх переваги та недоліки.
9. Як класифікуються замкнуті системи автоматичного керування? Дати пояснення.
10. Як класифікуються системи автоматичного керування за характером сигналом завдання?
11. Як класифікуються системи автоматичного керування за характером сигналу управління?
12. Як класифікуються системи автоматичного керування за характером зв'язків, що діють між елементами системи?
13. Які бувають дискретні системи автоматичного керування? Дати пояснення.
14. Як класифікуються системи автоматичного керування за видом енергії?
15. Як класифікуються системи автоматичного керування за числом керованих величин?
16. Як класифікуються системи автоматичного керування за кількістю контурів регулювання?

Кібернетика – наука про загальні закони отримання, зберігання, переробки і передачі інформації як у живій, так і в неживій природі.

Система – це цілеспрямована сукупність взаємозв'язаних елементів будь-якої природи єдиним процесом чи режимом.

Об'єкт керування (ОК) – це частина реальної системи, на яку можна впливати з певною метою. В техніці під об'єктом керування розуміється технічний засіб або технологічний процес, деякі фізичні величини якого підлягають стабілізації або цілеспрямованим змінам завдяки спеціально організованому керуючому впливу.

Стан об'єкта керування – це набір параметрів, які характеризують його в кожний момент часу.

Під **координатами об'єкта керування** розуміють вихідні змінні фізичні величини, параметри технологічного процесу, наприклад, напругу, швидкість, температуру, тиск і т. ін.

Теорія автоматичного керування – це наука, яка вивчає закони керування, принципи керування, принципи побудови системи автоматичного керування, а також методи аналізу і синтезу систем керування.

Системи автоматичного керування (САК) – це такі системи, які забезпечують відтворення необхідних законів зміни основних координат регулювання об'єкта керування, що характеризують його роботу, з метою досягнення поставленої мети.

Залежно від участі людини в процесі керування, саме керування поділяється на *ручне, автоматизоване і автоматичне*.

При *ручному керуванні* закон керування формується безпосередньо людиною. Системи, що реалізують ручне керування, називаються системами ручного керування.

При *автоматичному керуванні* закон керування формується без участі людини. Системи, що реалізують автоматичне керування, відносяться до САК.

Автоматизоване керування поєднує ручне і автоматичне керування. При автоматизованому керуванні окрім технічних засобів у формуванні закону керування беруть участь люди. При цьому роль людини полягає в ухваленні рішення, виборі варіанта керування і т. ін. Системи, що реалізують автоматизоване керування, називаються *автоматизованими системами керування (АСК)*.

Одним з найперспективніших напрямків розвитку автоматизації є розробка і впровадження робототехніки.

Пристрої (технічне устаткування), які виконують певні операції поділяються на напівавтоматичні та автоматичні.

Таблиця 1.1

Класифікація замкнених систем автоматичного керування

За принципом побудови	<ul style="list-style-type: none"> • за відхиленням; • за збуренням; • комбіновані. 		
За видом сигналів керування	<ul style="list-style-type: none"> • системи автоматичної стабілізації; • системи програмного керування; • слідкуючі системи. 		
За характером сигналу управління	<ul style="list-style-type: none"> • статичні відносно до задавальної величини; • статичні відносно до збурювальної величини; • астатичні відносно до задавальної величини; • астатичні відносно до збурювальної величини. 		
За характером зв'язків, що діють між елементами системи	• аналогові;		
	• дискретні	– імпульсні	<ul style="list-style-type: none"> • амплітудно-імпульсні; • широтно-імпульсні; • частотно-імпульсні.
		– цифрові	
		– релейні	<ul style="list-style-type: none"> • релейно-контакторні; • схеми зі змінною структурою з перемикаючими зв'язками.
За характером рівнянь які описують роботу	<ul style="list-style-type: none"> • лінійні; • нелінійні. 		
За видом енергії, яка використовується	<ul style="list-style-type: none"> • електричні; • пневматичні; • гідравлічні; • механічні; 		
	• комбіновані	<ul style="list-style-type: none"> • електропневматичні системи; • електрогідравлічні системи; • електромеханічні системи. 	
За числом керуваних величин	<ul style="list-style-type: none"> • одновимірні системи; • багатовимірні. 		
За кількістю контурів регулювання	<ul style="list-style-type: none"> • одноконтурні; • багатоконтурні. 		

Напівавтоматичний пристрій – це така одиниця устаткування, на якій поза безпосередньою участю людини, тобто автоматично, здійснюється виконання усіх операцій з безпосередньої дії на предмети праці (наприклад, оброблення заготовки). Повторення операцій обробки (складання) потребує втручання людини для встановлення заготовки (деталі), зняття її і пуску устаткування. Основним недоліком напівавтоматичного устаткування є порушення людиною безперервності технологічного процесу, яке проводиться як би усередині самої машини і тому призводить до ряду вельми негативних наслідків.

Всі автоматичні устаткування діляться на дві великі групи.

1. Автоматичні пристрої – це технічні пристрої, які без участі людини протягом тривалого часу виконують одноразові або багаторазові циклічні операції на основі заданої жорсткої програми.

2. Автоматичні системи – це технічні комплекси, які без участі людини протягом тривалого часу підтримують незмінними або змінюють необхідним чином деякі фізичні параметри величин в тому або іншому технічному устаткуванні, або технологічному процесі на основі обробки інформації про стан керованого об'єкта.

Автоматичний керуючий пристрій (АКП) – це пристрій, що здійснює вплив на об'єкт керування, відповідно з закладеним у ньому алгоритмом керування.

Регулятор – це пристрій, який здійснює перетворення сигналу згідно з математичними операціями, необхідними для регулювання відповідних координат об'єкта.

Задавальний пристрій – це пристрій, який призначений для формування такої задавальної дії, щоб об'єкт керування виконав поставлену перед ним задачу.

Задавальна дія – це цілеспрямована дія на об'єкт керування, яка визначається метою керування, відповідно до якої повинна змінюватися керована величина.

Збурювальна дія – це вплив навколишнього середовища на об'єкт керування і, як правило, цей вплив є негативним.

1.2. Особливості функціонування технологічних систем

Розглядаючи проблеми пов'язані з автоматизацією, необхідно розрізняти поняття “автоматизація” і “автоматика”. При розробці автоматичного устаткування необхідно вирішувати багато задач автоматики: збір і обробка інформації, контроль, керування та ін. Автоматика, як наукова дисципліна, пов'язана з вивченням загальних закономі-

За кількістю контурів регулювання САК класифікуються на:

- одноконтурні;
- багатоконтурні.

Прикладом одноконтурної системи може бути САК, призначена для регулювання швидкості обертання двигуна $\omega_1(t)$, функціональна схема якої показана на рис. 1.15.

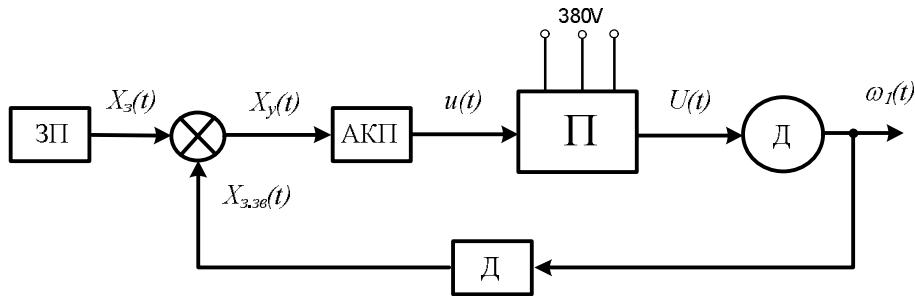


Рисунок 1.15 – Функціональна схема одноконтурної системи

Прикладом двоконтурної системи може бути САК, призначена для регулювання швидкості виконавчого механізму $\omega_2(t)$ (рис. 1.16). Через пружні властивості кінематичної ланки швидкість обертання двигуна $\omega_1(t)$ і виконавчого механізму $\omega_2(t)$ може бути різною. Тому необхідно здійснювати регулювання і за координатою $\omega_1(t)$ (I – контур регулювання), і за координатою $\omega_2(t)$ (II – контур регулювання).

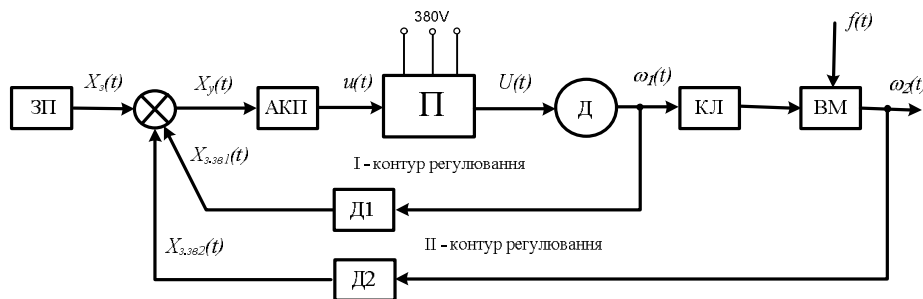


Рисунок 1.16 – Функціональна схема двоконтурної системи

В табл. 1.1 зведено загальну класифікацію замкнутих систем автоматичного керування.

рностей, умов функціонування та алгоритмів керування для різних технологічних процесів з метою розробки принципів побудови САК. Сучасні САК технологічними процесами характеризуються великою кількістю і різноманітністю технологічних параметрів, систем регулювання та об'єктів регулювання, але усі вони побудовані за тими самими принципами та законами регулювання.

На першому етапі автоматизації здійснювалася автоматизація виконання робочого циклу, тобто створювалися напівавтоматичні та автоматичні пристрої. Другий етап автоматизації представляє з себе комплексну автоматизацію, коли створюються цілі комплекси автоматично працюючих машин (автоматичні лінії, цехи і заводи). Також передбачається і третій етап автоматизації, коли самі комплекси автоматично працюючих машин будуть об'єднані однією системою керування.

Будь-який сучасний технологічний комплекс слід розглядати як автоматизований технологічний комплекс (АТК). Відповідно до технологічного процесу, робота АТК визначається задавальною програмою. Здійснюється контроль і регулювання електромагнітних, механічних, технологічних змінних, показників якості готової продукції; автоматична оптимізація узагальнених показників якості роботи АТК; контроль стану електротехнічного, механічного і технологічного устаткування.

У найбільш загальному вигляді, завдання АТК полягає в перетворенні вхідної сировини в готову продукцію (рис. 1.1) на основі отримання від технологічного середовища інформації I у вигляді задавальної програми і енергії P .

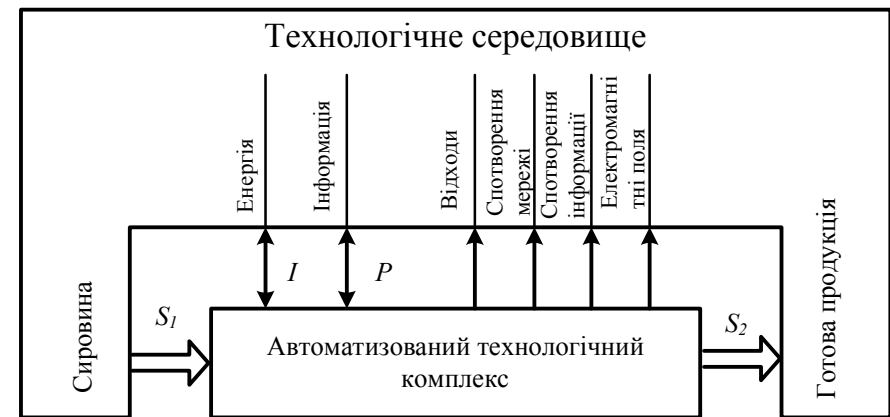


Рисунок 1.1 – Технологічна схема автоматизованого технологічного комплексу

Функціонування АТК може призводити до шкідливих впливів на середовище, таких як спотворення параметрів мережі енергопостачання, спотворення інформації, електромагнітні поля і ін. Усі ці впливи повинні бути зведені до допустимого за стандартом мінімуму, а відходи технологічного процесу перероблені в корисну продукцію. Готова продукція повинна відповідати вимогам стандарту до якості, виготовлятися за мінімально короткий час, при мінімальному споживанні енергії. Енергія машин, що вивільняється, повинна повертатися в технологічне середовище, туди ж повинна поступати інформація про роботу АТК і дані про якість готової продукції.

Технологічний процес, у більшості випадків, розділяють на ряд окремих операцій, що виконуються автономно, а зв'язок між ними зумовлений лише тим, що вони є окремими елементами одного процесу. Тобто, будь-яка велика система (технологічний процес) може бути побудована з підсистем, здатних самостійно функціонувати. Така диференціація сприяє різкому збільшенню продуктивності.

Кожна підсистема має свій ступінь автономності. Ступінь автономності можна визначити, як відношення кількості рішень, що приймаються всередині підсистеми, до кількості рішень, які вона одержує з зовні. Надійність і працездатність будь-якої системи зростає з підвищенням автономності кожної з її підсистем. Із застосуванням автономності зменшується кількість зв'язків між окремими підсистемами, а значить підвищується можливість функціонування кожної із них при порушенні роботи в інших підсистемах.

Різні підсистеми однієї системи можуть знаходитися на різних ієрархічних рівнях і бути підпорядковані між собою. Підпорядкованість, або нерівноправність, підсистем характеризується такими ознаками. Підсистеми вищого рівня мають пріоритет на право втручання в роботу підсистеми нижчого рівня. Підсистема нижчого рівня повинна виконувати розпорядження підсистеми вищого рівня навіть тоді, коли воно протирічить тій дії, яку підпорядкована система виконує в даний момент. Діяльність підсистеми вищого рівня залежить від фактичного виконання системою нижчого рівня своїх функцій.

Між системами також існують координаційні впливи. Координаційні впливи носять узагальнюючий характер формуючи задачу, яку повинна виконувати кожна локальна підсистема їй підпорядкована. Щоб досягнути глобальної мети (поставленої задачі) треба забезпечити їй подвійний спосіб керування.

Будь-яка САК складається з багатьох елементів. Якщо елемент описується лінійним диференціальним рівнянням чи лінійною залежністю, то такий елемент називається *лінійним*. Якщо ж робота елемента описується нелінійним диференціальним рівнянням чи нелінійною залежністю, то елемент називається *нелінійним*. Відповідно до того, якщо до складу САК входять лише лінійні елементи, то така система називається *лінійною*. Якщо САК містить хоча б один нелінійний елемент, то така система називається *нелінійною*. Слід мати на увазі, що дане твердження загальне. Майже усі системи є нелінійними, оскільки будь-яка система містить щонайменше один нелінійний елемент. Питання полягає лише в тому, наскільки він впливає на роботу системи в цілому.

За видом енергії, яка використовується для виконавчих органів, САК класифікуються на:

- електричні системи – володіють зручністю і легкістю обробки та передачі інформації;
- пневматичні системи – використовують енергію стиснутого газу і забезпечують високу швидкість;
- гідравлічні системи – використовують енергію рідини і забезпечують високу потужність;
- механічні;
- комбіновані, які в свою чергу поділяються на:
 - електропневматичні системи;
 - електрогідравлічні системи;
 - електромеханічні системи.

За числом керованих величин, САК класифікуються на:

- одновимірні системи – мають одну регульовану координату;
- багатовимірні або багатозв'язані системи – мають багато входів і виходів (регульованих координат).

Прикладом одновимірної системи може бути система, яка показана на рис. 1.3. Єдиною координатою керування є $u(t)$, яка змінюється за встановленим законом. Багатовимірна система показана на рис. 1.14. Вона має n входів ($X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)$) і m виходів ($y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)$).

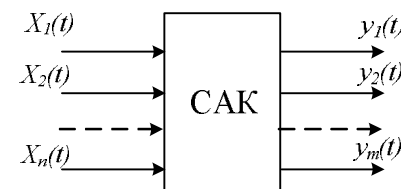


Рисунок 1.14 – Багатовимірна система

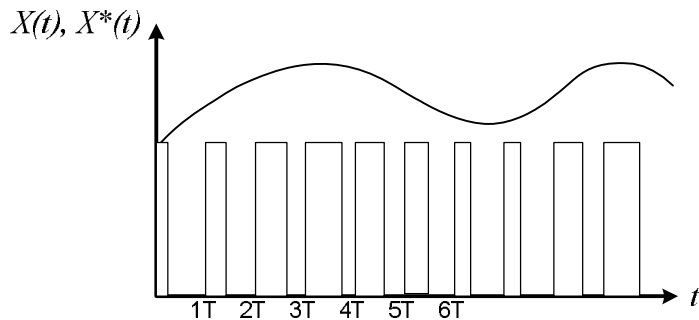


Рисунок 1.12 – Сигнал на вході та виході пристрою з широтно-імпульсною модуляцією

У системі з частотно-імпульсною модуляцією перетворення аналогового сигналу в імпульсний здійснюється таким чином, що частота імпульсів на виході пристрою пропорційна до амплітуди аналогового сигналу протягом періоду T .

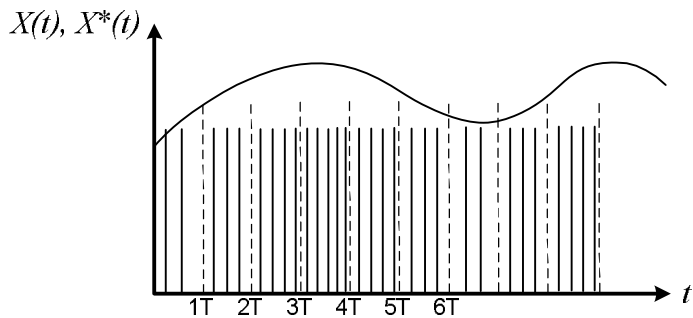


Рисунок 1.13 – Сигнал на вході та виході пристрою з частотно-імпульсною модуляцією

Цифрові САК можна розглядати як різновид імпульсних систем з амплітудно-імпульсною модуляцією. Відмінність полягає лише в тому, що амплітуда імпульсів сигналу подається у двійковому коді. Наприклад: $A_1 = 0101$; $A_2 = 0110$; $A_3 = 0111$.

Релейні схеми поділяються на:

- релейно-контакторні;
- схеми зі змінною структурою з перемикаючими зв'язками.

У сучасних системах керування замість релейно-контакторних схем використовують безконтактні схеми на базі інтегральних мікросхем.

Перший спосіб керування – це координація окремих цілей, які ставляться перед локальними підсистемами. Ця координація проводиться на стадії проектування. Ці локальні цілі повинні бути визначені таким чином, щоб була досягнута глобальна мета, якщо кожна із локальних підсистем виконує поставлене перед нею завдання.

Другий спосіб керування – це оперативна координація. Вона виконується в процесі роботи системи і враховує виконання кожною із локальних підсистем поставленого їй завдання, оскільки в процесі роботи можливі ситуації, які не були передбачені під час проектування, а отже не були закладені в алгоритм керування.

Координація локальних підсистем реалізується шляхом передавання їм відповідних координуючих впливів через підсистеми вищого рівня.

P.S. Такий поділ стосується не лише технологічного процесу, а й будь-якої сфери, в тому числі людської діяльності. Наприклад, найнаочніше це можна побачити у військовій структурі, де підрозділи поділяються на полки, батальйони, роти, взводи, відділення. Усі вони підпорядковані одне одному. Командир полку має найбільший пріоритет. Командир відділення – найменший. Виконання поставленої задачі полком залежить від виконання поставленої задачі усіма відділеннями. Командир відділення повинен виконувати розпорядження командира полку навіть тоді, коли це суперечить його теперішнім діям. Координація цілей робиться на початку виконання завдання, а оперативна координація – в процесі виконання поставленого завдання, оскільки реальна ситуація може змінюватися.

На рис. 1.2 показано приклад сучасного автоматизованого технологічного комплексу. Механізми (виконавські органи робочої машини) оснащуються індивідуальними електроприводами з електродвигунами Д, керованими перетворювачами (КП), програмованими мікроконтролерами приводів (МКП). Спільну роботу приводів і механізмів, що входять до складу технологічного устаткування, координує технологічний програмований мікроконтролер (МКТ). Координацію спільної роботи установок технологічного комплексу виконує один з МКТ або спеціалізований персональний комп'ютер (ПК), що входить до складу станції оператора (СО). Через магістральний перетворювач (МП) здійснюється зв'язок АТК з розподіленою системою управління технологічним процесом. Мікроконтролери взаємодіють через комунікаційний зв'язок, структура якого, відповідно до існуючих стандартів по індустріальних мережах засобів обчислювальної техніки, може бути різною. Контроль агрегатів і управління ними можуть здійснюватися з периферійних пультів операторів (ПО).

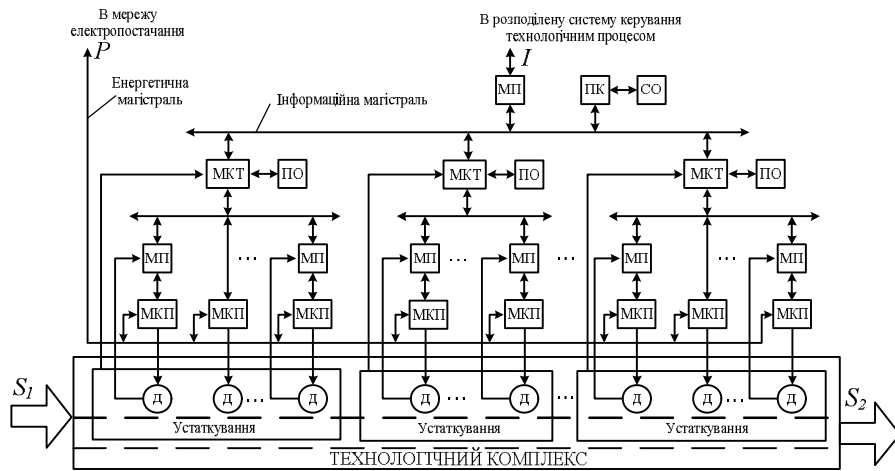


Рисунок 1.2 – Функціональна схема сучасного автоматизованого технологічного комплексу

МКП вирішуються наступні завдання:

- керування силовою частиною КП;
- регулювання моменту електродвигуна, швидкості і положення механізму;
- програмно-логічне управління пуском, зупинкою і робочим режимом привода;
- автоматичне налаштування регуляторів в режимі наладки;
- контроль стану і діагностики несправностей в компонентах електропривода;
- захист і сигналізація електропривода.

Відповідно, МКТ вирішує завдання:

- вироблення завдань на МКП відповідно до координованої роботи приводів устаткування;
- програмно-логічне управління пуском, зупинкою і робочим режимом установки;
- регулювання технологічних змінних;
- контроль стану і діагностика несправностей в компонентах агрегату.

Комп'ютерні системи керування електроприводами, механізмами, технологічними агрегатами і комплексами виконуються за єдиною ідеологією з гнучким варіюванням апаратних і програмних засобів.

У системі з амплітудно-імпульсною модуляцією здійснюється квантування аналогового сигналу $X(t)$ в часі через певний постійний період часу T . В результаті, на виході пристрою з амплітудно-імпульсною модуляцією діє імпульсний сигнал $X^*(t)$, амплітуда якого дорівнює амплітуді аналогового сигналу в момент спрацювання квантувача в часі (див. рис. 1.10, 1.11).

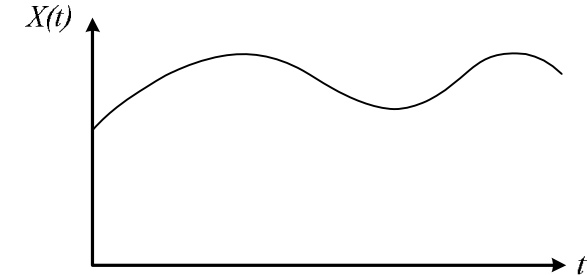


Рисунок 1.10 – Сигнал на вході пристрою з амплітудно-імпульсною модуляцією

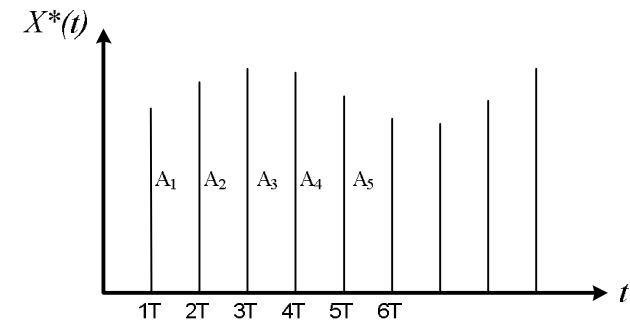


Рисунок 1.11 – Сигнал на виході пристрою з амплітудно-імпульсною модуляцією

У системі з широтно-імпульсною модуляцією перетворення аналогового сигналу $X(t)$ в імпульсний $X^*(t)$ здійснюється таким чином, що ширина імпульсу вихідного сигналу пропорційна до амплітуди аналогового сигналу в певний момент квантування, тобто:

$$\lambda_i = f(A_i); \quad \lambda_i = \frac{\tau_i}{T};$$

де τ_i – ширина імпульсу.

Квантування в часі у таких системах здійснюється з однаковим періодом T .

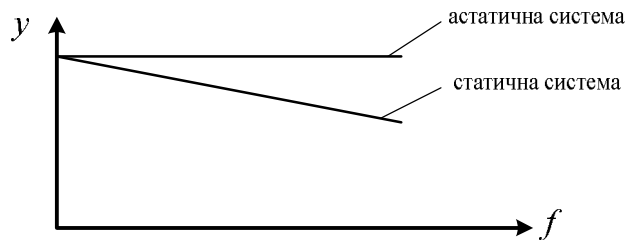


Рисунок 1.8 – Характеристики статичної та астатичної САК

За характером зв'язків, що діють між елементами, САК класифікуються на:

- аналогові;
- дискретні.

Аналогові системи – це такі САК, які оперують аналоговим (неперервним) сигналом $X(t)$ (рис. 1.9). В таких системах сприйняття, обробка та передача інформації між елементами системи існує неперервно в часі.

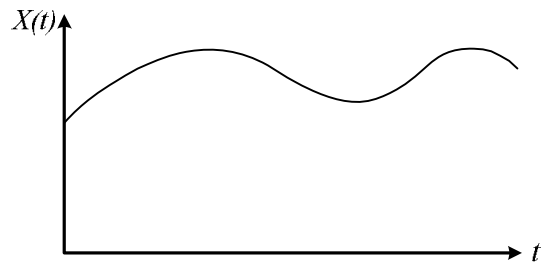


Рисунок 1.9 – Аналоговий сигнал

Дискретні системи – це такі системи, в яких сприйняття, обробка та передача інформації здійснюється в певні дискретні моменти часу. Протягом іншого проміжку часу система залишається некерованою.

У свою чергу дискретні САК поділяються на:

- імпульсні;
- цифрові;
- релейні.

Імпульсні САК поділяться на:

- амплітудно-імпульсні;
- широтно-імпульсні;
- частотно-імпульсні.

Мікроконтролери можуть мати різні конструкції, але завжди передбачається можливість варіювання їх конфігурації завдяки пристроям розширення і периферійним модулям. Основою мікроконтролера є центральний блок, що містить центральний процесор і блок живлення. Залежно від завдань автоматизації до системної шини контролера можуть підключатися різні периферійні модулі, наприклад, цифрових і аналогових входів/виходів, попередньої обробки сигналів, комунікаційних процесорів тощо. Передбачається можливість використання різних типів центральних процесорів, блоків живлення, периферійних модулів. Для об'єктів, які потребують підвищеної надійності роботи, використовуються контролери, що складаються з двох-трьох центральних блоків з процесорами резервної дії. Програма користувача складається для таких контролерів, як і в звичайному варіанті.

Модулі інтелектуальної периферії вирішують спеціальні завдання користувача з вимірювання, оцінки, регулювання, стабілізації, позиціонування і т. ін. Вони інтелектуальні, оскільки мають власні процесори і вирішують самостійно в реальному часі спеціалізовані завдання управління. Їх периферійність визначається тим, що з керованим процесом вони безпосередньо зв'язані через власні входи/виходи. Завдяки цьому центральний процесор не перевантажується і за необхідний час виконує власні завдання.

Системи візуалізації і обслуговування включають засоби від простих дисплеїв до інформаційних систем. Набувають поширення такі системи:

- панелі оператора, призначені для відображення керованого процесу, введення і виведення даних і для наладки; містять дисплеї і клавіатури, конструктивно розміщені в одному корпусі;
- програмовані термінали, що є електролюмінесцентними графічними терміналами з активним екраном, на якому можна гнучко змінювати клавіатуру;
- локальні системи візуалізації і обслуговування з різними функціональними можливостями (від короткочасної або довготривалої архівації вимірюваних величин до повнографічних систем з об'єктно-орієнтованими оболонками проектування і обслуговування), які інтегровані в інші системи. Вони є автоматизованим робочим місцем на базі ПК;
- центральні системи візуалізації і обслуговування з високими функціональними можливостями, розширені від автоматизованого робочого місця до скоординованих багатокористувацьких і багатотермінальних систем.

Програматори і ПК використовуються в системах візуалізації і обслуговування, а також для підготовки, відлагодження та запису програм у контролери. Відповідно до завдань програмно-логічного та безперервного управління, діагностики, контролю стану функціональних вузлів устаткування, відображення інформації про керований процес є стандартне програмне забезпечення у вигляді функціональних блоків, які забезпечують вирішення конкретних завдань і органічно вбудовані в програми користувача.

Окрім цього, є програми-драйвери, які вирішують завдання з'єднання контролерів із стандартною периферією, з іншими контролерами та комп'ютерними засобами автоматизації в комунікаційній мережі.

У функціональні блоки входять програмні пакети, які виконують типові функції, наприклад:

- арифметичні, тригонометричні, логарифмічні, показникові, обробки логічних операцій, перетворення масивів даних та ін.;
- регулювання електромагнітних, механічних і технологічних змінних; реалізації стабілізуючого, спостережного, каскадного, модального і адаптивного керування; корекції і компенсації нелінійностей, згладження; реалізації безперервних, крокових та імпульсних регуляторів;
- спостереження, відображення і обслуговування для локальних і центральних систем; видачі важливих співвідношень і повідомлення про помилки; групування повідомлень і відображення узагальнених повідомлень; включення переривчастої та неперервної світлової і звукової сигналізації;
- попередньої обробки сигналів у вигляді підготовки даних, обробки повідомлень і переривань, дозування, вимірювання швидкості, шляху, температури та ін.;
- службові – для обміну даними між центральним процесором контролера та модулями комутаційного процесора; попередньої обробки сигналів і пам'яті;
- імітації об'єкта керування і обробки алгоритмів керування.

Для написання програмного забезпечення контролерів є економічні технології з використанням ПК (стандартних, сумісних з РС/АТ) або програматорів.

Автоматичні системи керування можуть мати різні види *сигналів завдання (задавальний сигнал)*. Залежно від цих сигналів системи керування класифікуються на:

- системи автоматичної стабілізації;
- системи програмного керування;
- слідкуючі системи.

Системи автоматичної стабілізації – це такі системи, в яких сигнал завдання $X_3(t)$ постійний і наперед заданий. Ці системи здійснюють стабілізацію вихідної координати регулювання.

Системи програмного керування – це такі системи, в яких сигнал завдання $X_3(t)$ змінюється за певною, наперед заданою програмою, в результаті чого вихідна координата САК також змінюється за заданою програмою.

Слідкуючі системи – це такі системи, в яких сигнал завдання $X_3(t)$ змінюється в часі за довільним законом. Слідкуючі системи представляють собою САК положенням виконавчого механізму. Прикладом слідкуючих систем може бути радіолокатор, телескоп і т.д., тобто системи, які здійснюють стеження за об'єктом, траєкторія руху якого наперед невідома.

САК класифікуються за *характером сигналу управління*:

- статична САК;
- астатична САК.

Статичною САК відносно задавальної або збурювальної величини називається така система, у якій сигнал управління в усталеному режимі залежить від сигналу завдання чи збурення.

Астатичною САК відносно до задавальної або збурювальної величини називається така система, у якій сигнал управління в усталеному режимі не залежить від сигналу завдання чи збурення.

Існує ще одне визначення щодо статичності і астатичності САК відносно до збурювальної величини. Воно дає змогу краще зрозуміти це поняття.

Статична САК відносно до збурення – це така система, в якій при дії збурення координата регулювання відхиляється від заданого значення (див. рис. 1.8).

Астатична САК відносно до збурення – це така система, в якій при дії збурення значення координати регулювання залишається незмінним (див. рис. 1.8).

алгоритмом, намагається забезпечити необхідні показники регульованої координати.

Принцип регулювання за збуренням – це є такий принцип регулювання, коли шкідлива дія збурювальної величини на регульовану координату усувається шляхом введення на вхід системи компенсуючої дії за цією збурювальною величиною. Функціональна схема такої системи показана на рис. 1.6.

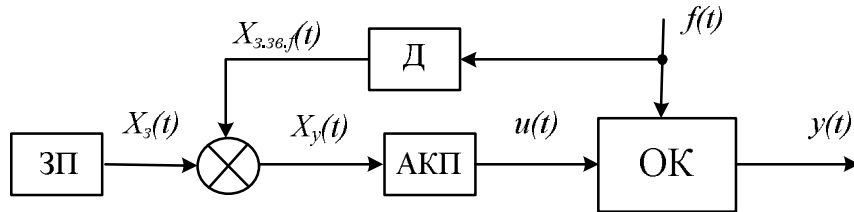


Рисунок 1.6 – Функціональна схема САК, побудованої за принципом регулювання за збуренням

Оскільки збурювальних факторів в системі може бути дуже багато, то в цьому випадку треба вводити багато компенсуючих зворотних зв'язків, що значно ускладнює систему керування. Тому у таких системах необхідно і доцільно вводити зворотні зв'язки лише за збурювальними факторами, котрі мають найбільший вплив на систему. Такими збурювальними факторами, наприклад, можуть виступати: зміна напруги мережі, зміна навантаження, зміна температури і т.д.

Комбінований принцип побудови поєднує принципи регулювання за відхиленням та збуренням. На рис. 1.7 показано функціональну схему такої САК.

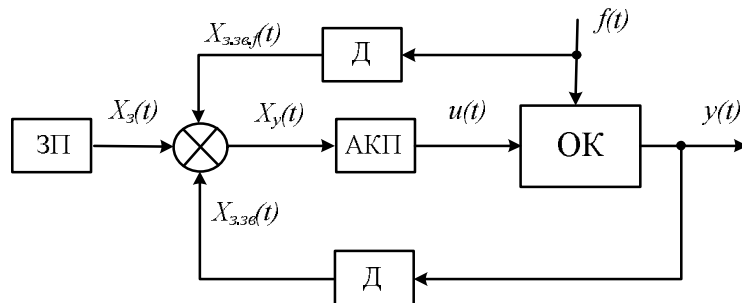


Рисунок 1.7 – Функціональна схема САК, побудованої за комбінованим принципом регулювання

1.3. Принципи побудови та класифікація систем автоматичного керування

Існує достатня кількість різноманітних систем керування, які виконують ті або інші функції керування найрізноманітнішими процесами в багатьох сферах людської діяльності. Проте, принципи побудови систем керування, принципи керування як і закони керування є загальними. На цей час розрізняють чотири принципи керування [1, 2]:

1. Принцип розімкненого циклу (розімкнуті системи автоматичного керування);
2. Принцип замкнутого циклу або принцип зворотного зв'язку (замкнуті системи автоматичного керування);
3. Комбінований принцип (комбіновані системи автоматичного керування);
4. Принцип адаптації (адаптивні системи автоматичного керування).

У системі, яка побудована за *розімкнутим принципом*, відсутній зворотний зв'язок за координатами об'єкта або його параметрами, в результаті чого, при виникненні відхилення вихідної координати $y(t)$ від заданого значення, яке спричинене тим чи іншим збурювальним впливом, сигнал управління $X_y(t)$ на вході системи залишається незмінним. Функціональна схема розімкненої системи показана на рис. 1.3, де прийнято такі позначення: ЗП – задавальний пристрій, який формує сигнал управління; $X_y(t)$ – сигнал управління; $u(t)$ – сигнал керування, який формує АКП на ОК для забезпечення необхідного закону зміни вихідної координати $y(t)$; $f(t)$ – збурювальна дія на ОК.

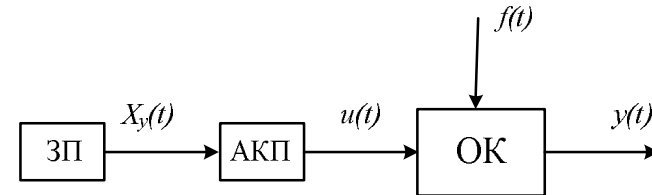


Рисунок 1.3 – Функціональна схема системи, яка побудована за розімкнутим принципом

Збурення класифікую за характером зміни в часі:

- повільно змінні;
- імпульсні;
- випадкові, які діляться на:
 - низькочастотні;
 - високочастотні.

Прикладом побудови розімкнутої системи може бути двигун Д, який живиться від перетворювача П і приводить в рух механізм, який включає в себе виконавчий механізм ВМ і кінематичну ланку КЛ (див. рис. 1.4).

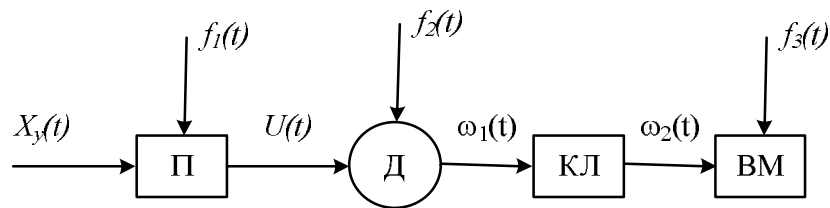


Рисунок 1.4 – Функціональна схема розімкнутої системи керування (двигун – виконавчий механізм)

Координатами об'єкта в цій системі є напруга живлення двигуна $U(t)$, швидкість обертання двигуна $\omega_1(t)$ і швидкість обертання виконавчого механізму $\omega_2(t)$, яка є вихідною координатою системи. Крім того, координатою також може бути і струм двигуна.

Перетворювач є джерелом живлення з регульованими вихідними напругою та струмом. Перетворювач, двигун, кінематична ланка та виконавчий механізм складають силову частину електромеханічної системи, основним призначенням якої є перетворення параметрів електричної енергії в механічну. На перетворювач, двигун і виконавчий механізм діють збурення $f_1(t), f_2(t), f_3(t)$, наприклад, у вигляді зміни напруги живлення мережі, зміни моменту навантаження і т.п. Ці збурення призводять до відхилення вихідної координати $\omega_2(t)$ (швидкості обертання виконавчого механізму) від заданого значення. Причому, значення цього відхилення у статичному режимі та характер його зміни в динаміці при такому збуренні визначаються параметрами перетворювача, двигуна та виконавчого механізму.

У системі, яка побудована за замкнутим принципом, сигнал управління $X_y(t)$, який діє на АКП змінюється при відхиленні істинних (реальних) значень вихідних змінних від заданих, що досягається шляхом введення зворотних зв'язків з виходу системи на її вхід. Порівняння реальних значень керуючих змінних із заданим відбувається на вході АКП. Функціональна схема замкнутої системи показана на рис. 1.5, де: Д – давач, який призначений для перетворення змінної величини в електричний сигнал з необхідними параметрами; $X_{3,зв}(t)$ – сигнал зворотного зв'язку; \otimes – суматор.

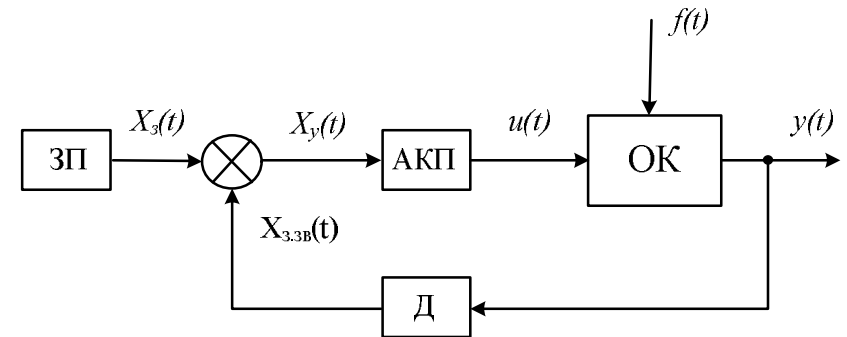


Рисунок 1.5 – Функціональна схема системи, яка побудована за замкнутим принципом

Системи побудовані за таким принципом є більш досконалішими і вони будуть розглядатися далі.

Комбінований принцип поєднує принципи розімкнутого і замкнутого принципу автоматичного керування в одній системі.

Принцип адаптації полягає в тому, що системи, які реалізують цей принцип, в процесі роботи пристосовуються, тобто адаптуються, до зміни зовнішніх умов [3]. Таке управління називається адаптивним, а системи, що працюють за таким принципом, називаються адаптивними та є найдосконалішими. Адаптивні системи мають в своєму складі, як правило, додаткові блоки і контури для аналізу показників якості процесу керування або зовнішніх умов, до яких необхідна адаптація.

Адаптивні системи розділяються на екстремальні, самоналаштовуючі та такі, що самоорганізуються.

1.4. Типи замкнутих систем автоматичного керування

Замкнуті САК класифікуються за *принципом побудови* [1, 2]:

- за відхиленням;
- за збуренням;
- комбіновані.

Принцип регулювання за відхиленням – це такий принцип, коли в системі існує від'ємний зворотний зв'язок за регульованою координатою. У цьому випадку за допомогою зворотних зв'язків є можливість усунути вплив на систему всіх збурень. Функціональна схема такої системи показана на рис. 1.5. Дія збурення на об'єкт керування призводить до зміни величини регульованої координати, яка поступає з давача і заводиться на АКП. АКП в свою чергу, згідно з розробленим