

Луцький національний технічний університет

Вступ. Загальні поняття про системи автоматичного керування

Герасимчук Галина Андріївна

Луцьк - 2018

План

Вступ

1. Загальні відомості та визначення теорії систем автоматичного керування
2. Класифікація елементів, що входять до складу систем автоматичного керування

Вступ

Наукова дисципліна **“Теорія автоматичного керування”** (ТАК) вивчає закони керування в технічних системах, розробляє методи аналізу та синтезу (побудови) систем автоматичного керування (САК). Це один з розділів загальної науки про керування, яка має назву кібернетики.

Академік Колмогоров А.М. так визначив напрямок цієї науки: **“Кібернетика займається вивченням систем будь-якої природи, здатних сприймати, зберігати і переробляти інформацію і використовувати її для керування та регулювання”**.

Предметом теорії автоматичного керування є вивчення законів керування та регулювання роботи найрізноманітніших апаратів, машин, технічних систем, а також живих організмів, соціальних, організаційних та інших систем створених природою і людиною.

Завданнями ТАК такі:

- збір та аналіз інформації про властивості САК і умови їх використання;
- вивчення функцій, які виконують в САК різної фізичної природи;
- розробка методів аналізу САК;
- визначення принципів роботи САК і законів керування;
- синтез алгоритмів керування;
- створення пристроїв, що реалізують високоефективні алгоритми керування.

Теорія автоматичного керування – це суто теоретична дисципліна, яка заснована на сучасному математичному апараті. Вона розглядає адекватні математичні моделі систем керування, тому основним методом дослідження є **математичне моделювання**.

При цьому використовуються:

- теорія диференціальних рівнянь;
- операційне числення (перетворення Лапласа);
- гармонічний аналіз (перетворення Фур'є);
- розділи теорії комплексної змінної.

1. Загальні відомості та визначення теорії систем автоматичного керування

Розвиток теорії автоматичного керування почався з 30-х років ХХ ст., коли були відкриті закони регулювання та вирішені задачі стійкості систем регулювання. Перші регулятори були призначені для керування роботи парових машин.

Робота технічних пристроїв, таких як парові машини, паровози та інші, без регуляторів неможлива. Тільки створення автоматичних регуляторів дало поштовх технічному прогресові.

Засоби автоматики прийнято поділяти на:

- Засоби автоматики й телемеханіки.
- Системи автоматичного керування (САК).
- Автоматизовані системи керування (АСУ).

Засоби автоматики та телемеханіки - це, як правило, найбільш прості пристрої: автоматичні вимикачі, реле, реле-регулятори та ін. Принципи їх роботи вивчає наукова дисципліна «Автоматика та телемеханіка».

Системи автоматичного керування - це сукупність пристроїв автоматики та об'єктів керування. Динаміку роботи цих систем вивчає теорія автоматичного керування.

Автоматизовані системи керування – це людино-машинні системи, призначені для керування великими комплексами, підприємствами. Це системи, що включають сучасну обчислювальну техніку, яку обслуговують і роботою яких керують люди.

Теорія автоматичного керування

Вивчає закони керування в технічних системах, розробляє методи аналізу та синтезу (побудови) систем автоматичного керування (САК).

Вивчає процеси керування на найбільш загальному, абстрактному рівні. Вона вивчає загальні закони керування незалежно від природи конкретної системи. Тому у ній абстрагуються від конкретної фізичної природи системи і діючих в ній величин і розглядають тільки їх значення. Під час абстрагування поняття фізичної величини заміняють поняттям сигнал, розуміючи під сигналом інформацію про значення конкретної величини.

Під поняттям величина (вхідна, вихідна, збурююча величина і т.п.) розуміють конкретну фізичну величину, яка діє на систему з врахуванням її фізичної природи.

Поняттям сигнал використовують під час теоретичного вивчення закономірностей роботи систем керування, вивчення принципів керування, законів керування.

Основні поняття теорії автоматичного керування

Алгоритм – упорядкована сукупність правил, точне виконання яких приводить до потрібного кінцевого результату.

Алгоритм функціонування – сукупність правил чи вимог, які визначають потрібне здійснення робочого процесу певним об'єктом (пристроєм, технічною, природною чи організаційною системою)

·
Алгоритм керування – сукупність правил, які визначають характер дій на об'єкт керування (ОК) з метою підтримання його алгоритму функціонування.

Керування – процес дії на об'єкт у відповідності з алгоритмом керування.

Система автоматичного керування – це сукупність об'єкта керування та пристрою автоматичного керування (ПАК), які взаємодіють між собою з метою забезпечення заданого алгоритму функціонування.

Система автоматичного керування

Систему автоматичного керування можна визначити, як систему, що складається з об'єкта керування та пристрою керування, в якій керування чи регулювання режимом роботи об'єкта, відповідно до алгоритму керування, здійснюється автоматично без участі людини.

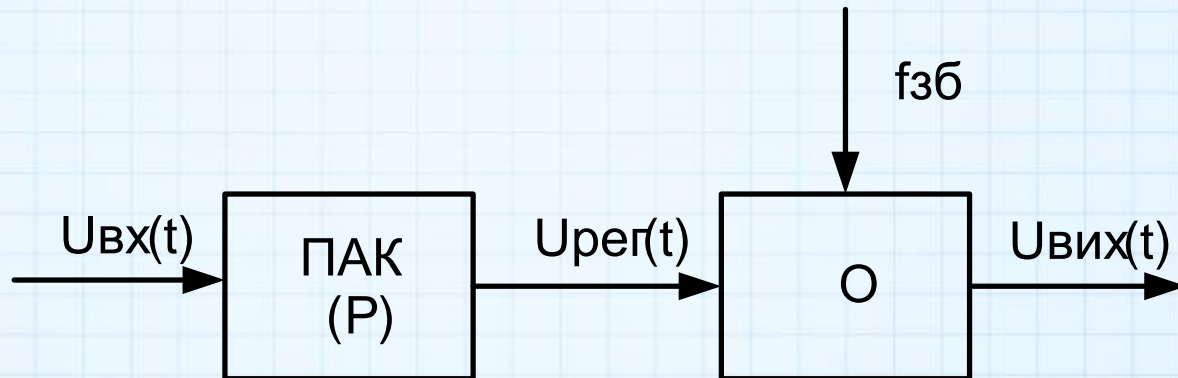


Рис. 1.1 – Функціональна схема системи автоматичного керування

САК складається:

З об'єкта керування (ОК), керування режимом роботи якого здійснюється за допомогою пристрою автоматичного керування (ПАК). Стрілками на схемі показано величини, які забезпечують роботу системи, а саме:

Об'єкт керування (ОК) – це певний пристрій, технічна, природна чи організаційна система алгоритм функціонування якого у даній САК підтримується з потрібною точністю.

Пристрій автоматичного керування (ПАК) – пристрій, який забезпечує виконання алгоритму керування автоматично, без участі людини.

U_{вх}(t) – задаюча (вхідна) величина (задаючий сигнал) – величина, яка відповідає дії людини на САК і задає певний алгоритм функціонування об'єкта, тобто задає потрібний режим його роботи.

U_{рег}(t) – керуюча (регулююча) величина (сигнал регулювання) – дія пристрою автоматичного керування на об'єкт з метою підтримання його алгоритму функціонування.

U_{вих}(t) – вихідна величина (вихідний сигнал) – результат роботи системи, параметри роботи системи, які описуються в алгоритмі функціонування.

f(t) – збурююча дія (сигнал збурення) – зовнішня дія на об'єкт, яка призводить до зміни вихідних величин більших ніж допускається алгоритмом функціонування.

Приклади САК

З прикладами систем автоматичного керування ми зустрічаємось на кожному кроці і в побуті, і на виробництві, і в живій природі. Практично ніяка більш-менш складна технічна система не може обійтися без систем автоматичного керування. Приклади таких систем показано на рис 1.2 – 1.21

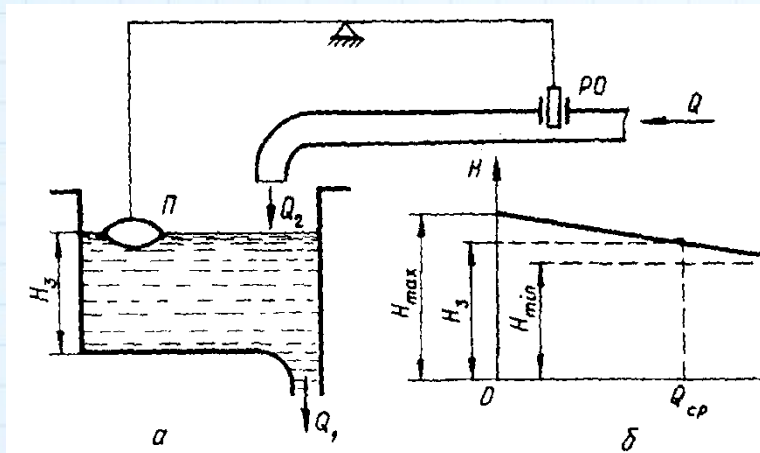


Рис. 1.20 – Статичний регулятор рівня води

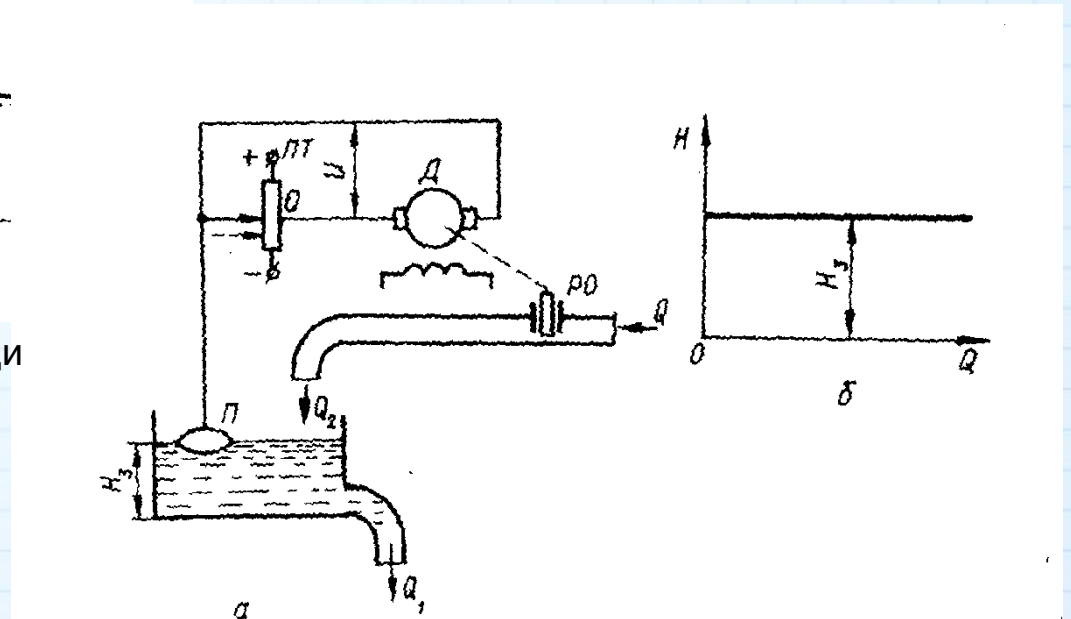


Рис. 1.21 – Астатичний регулятор рівня води (регулятор непрямої дії).

Регулятор рівня води схематично показаний на рис. 1.20.

Тут об'єктом керування є бак, в якому підтримується потрібний рівень води. Регулятором служить поплавок, з'єднаний за допомогою важеля з голчастим клапаном. При зниженні рівня води клапан переміщується і відкриває потік води. При постійному потоці води, що витікає, клапан знаходиться у певному відкритому положенні, вода поступає в бак і рівень води вирівнюється. На рисунку показано графік регулювання, в якому видно залежність рівня води від швидкості витікання води з бака Q . Рівень залежить від швидкості витікання води.

На рис.1.21 показано аналогічний регулятор рівня.

Тут, на відміну від попереднього регулятора, регулюючий орган (клапан) переміщується двигуном D . На двигун подається напруга, яка залежить від положення поплавка. Цей регулятор забезпечує постійний рівень води не залежно від швидкості її витікання. Порівняння цих регуляторів показує, що в першому випадку ми маємо регулятор прямої дії, а в другому – регулятор непрямої дії. Але для нас важливішою є робота цих регуляторів. Якщо графік регулювання першого регулятора в динамічному режимі (тобто при відкритому вихідному крані) має вигляд нахиленої лінії, то другий регулятор має графіком регулювання горизонтальну лінію. Це зумовлюється принципом роботи регулятора. Відмітимо тут тільки, що перший регулятор називають статичним, а другий астатичним.

Приклади САК

Візьмемо побутову техніку. Холодильник, електричний утюг, радіоприймач, магнітофон, телевізор. Вся ця та інша техніка має у своєму складі або сама повністю є **системою автоматичного керування**.

Більш серйозна техніка – регулятор швидкості паровоза, генератор електростанції із системою регулювання частоти струму та напруги, зенітна ракета, місяцехід, система орієнтації супутника, атомний реактор та багато інших також є системи автоматичного керування.

Системи живої природи – система забезпечення постійного хімічного складу лімфи, регулювання кровообігу, система регулювання розміру зіниці ока та ін. – це також системами автоматичного керування.

Приклади САК

Холодильник (див. рис. 1.2) забезпечує постійну температуру продуктів.

Алгоритмом його функціонування є підтримання постійної низької температури в корпусі. В ньому є блок керування та холодильний агрегат (термостат), який забезпечує постійну температура в корпусі холодильника.

Задаючою (вхідною) величиною є температура, встановлена положенням ручки регулятора, а **вихідною величиною** – температура продуктів у холодильнику. Під час роботи холодильника двигун прокачує теплоносій. Розширюючись в камері термостата теплоносій охолоджує її. Регулювання температури здійснюється за допомогою сифона, який перекриває клапан і не дає щоб теплоносій розширювався в камері термостата.

Керуюча дія це перекривання клапана камери термостата.

Збуруюча дія – це вплив навколишнього середовища, відкривання дверей і закладання теплих продуктів тощо.

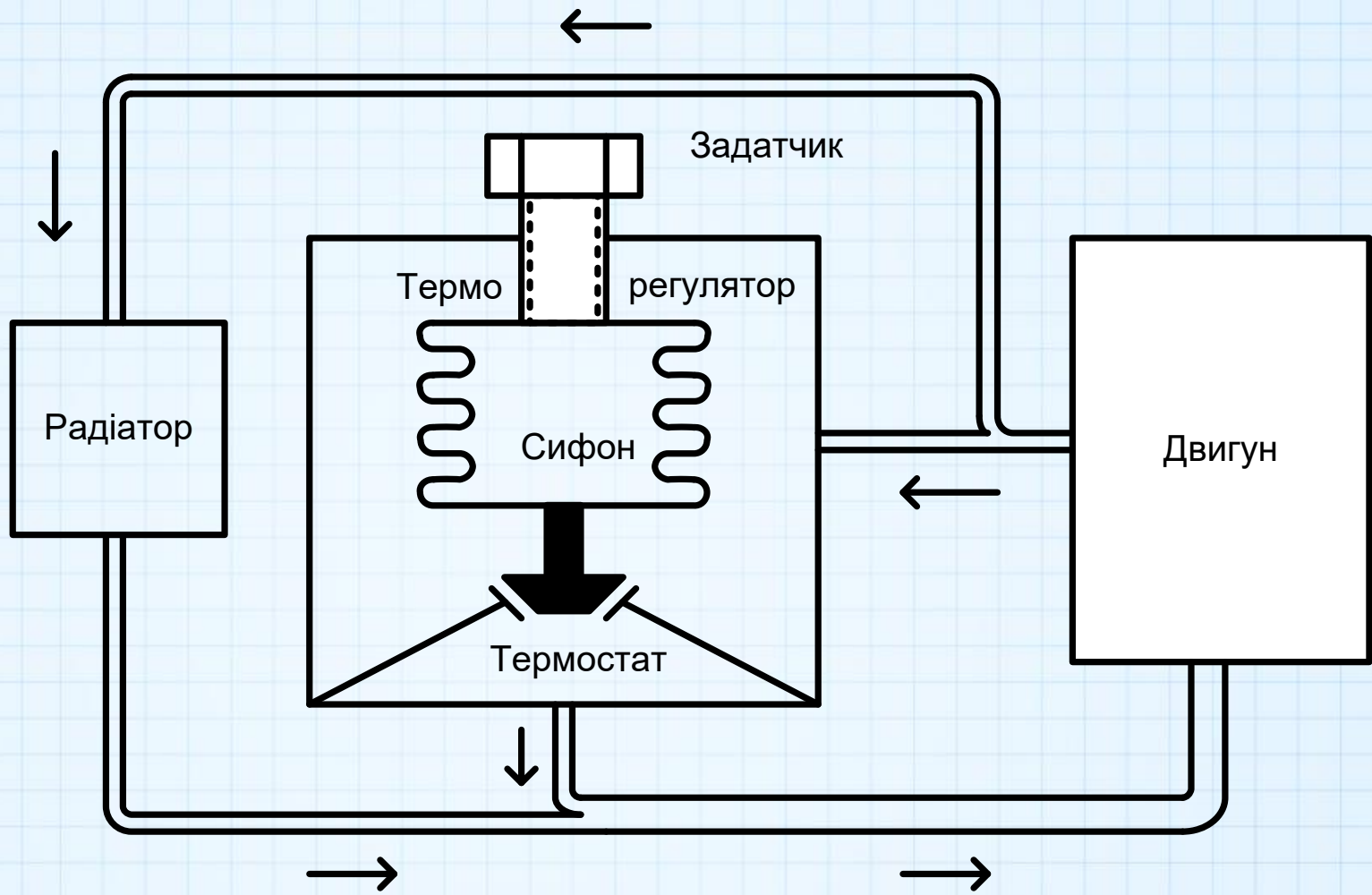
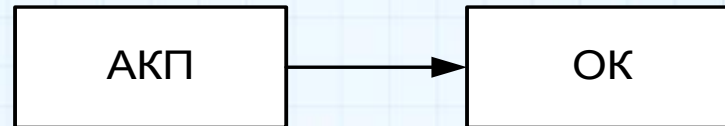


Рис. 1.2 – Регулятор температури в холодильнику.

2. Класифікація елементів, що входять до складу систем автоматичного керування

В загальному випадку виділяють два елементи:

- об'єкт керування ОК;
- автоматичний керуючий пристрій АКП (регулятор, корегуючий пристрій).



Стосовно реальних технологічних процесів виокремлюють чотири основні елементи САК:

1. Об'єкт керування
2. Вимірювальний (чутливий) елемент – фіксує зміни вихідної (регульованої) величини і виконує роль інформаційного перетворювача.
3. Інформаційний перетворювач – це пристрій, який перетворює вхідний сигнал однієї фізичної природи у вихідний сигнал іншої фізичної природи (відцентровий перетворювач).
4. Керуючий елемент – на вхід надходить сигнал від вимірювального елемента, на виході формується сигнал для виконуючого елемента (різного роду підсилювачі). Виконуючий елемент – елемент, який безпосередньо діє на регульовану величину.

Якщо всі елементи САК позначити прямокутниками, розмістивши їх у послідовності, що відповідає їх взаємодії, а напрямок цієї взаємодії вказати стрілками, то дістанемо функціональну схему САК. Якщо на функціональній схемі відобразити характеристики (рівняння, криві залежностей вихідних параметрів від часу, тощо), що визначають динамічні властивості елементів системи, то дістанемо структурну схему САК. Елементи відповідних схем називають ланками.

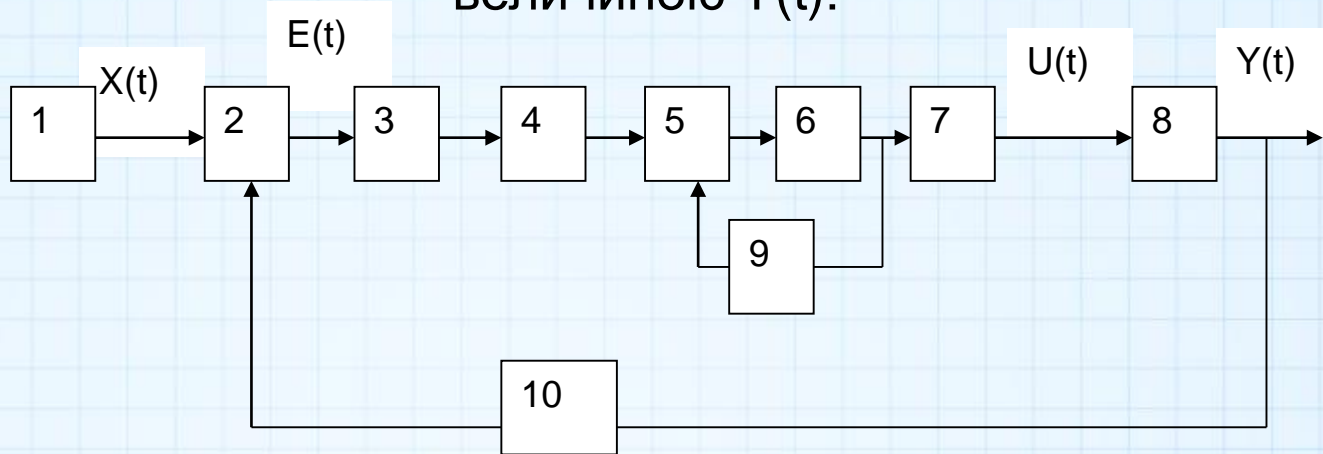
Сигнал завдання – це потрібне значення регульованої величини, що задається на вході системи.

Дія – в автоматичі це взаємодія між автоматичною системою і зовнішнім середовищем.

Керувати об'єктом – це формувати керуючу дію $u(t)$ з таким розрахунком, щоб регульована величина $y(t)$ змінювалася за бажаними законом керування з певною точністю незалежно від дії на об'єкт збурення $f(t)$.

САК, які мають замкнуту функціональну (структурну) схему, називають **системами автоматичного регулювання (САР), або системами із зворотним зв'язком**.

Наведемо типову функціональну схему САК з одною регульованою величиною $Y(t)$:



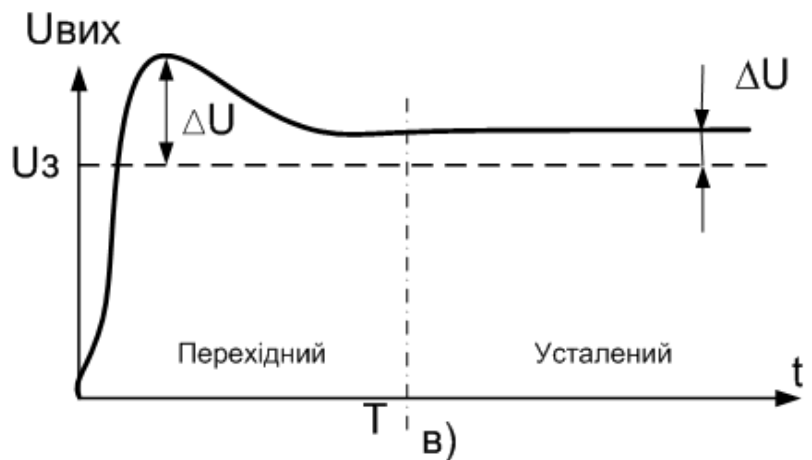
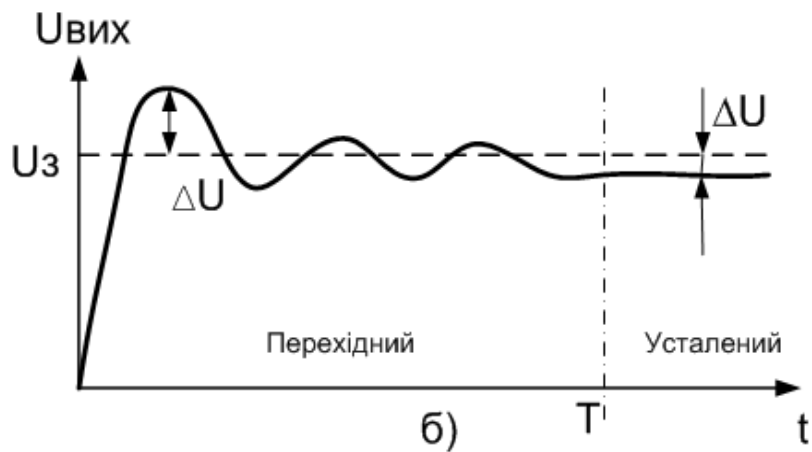
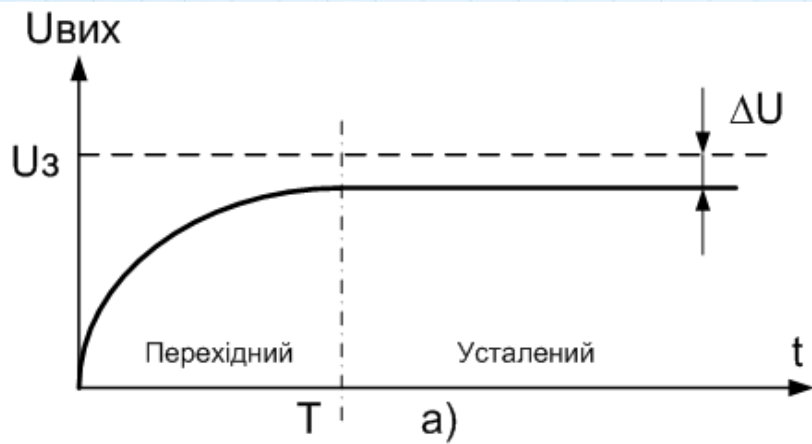
- 8 - об'єкт керування - машина чи установка, заданий режим роботи якої повинен підтримуватися керуючим пристроєм;
- 1 - задаючий пристрій (ЗП), призначений для задання необхідного значення вхідної координати. Це значення може задаватися вручну (у системах стабілізації), змінюватися за заданим законом (програмне керування), змінюватися за випадковим законом (стежачі системи);
- 2 - порівнюючий пристрій або блок порівняння (БП), який на основі порівняння дійсного значення вихідної координати $Y(t)$ з її бажаним значенням $Y_{\text{баж}}(t)$ виробляє сигнал розузгодження $E(t)$;
- 3 - перетворюючий пристрій, який перетворює одну фізичну величину в іншу, більш зручну для використання в процесі керування;
- 6 - підсилюючий пристрій або підсилювально-перетворюючий пристрій, що підсилює сигнали за потужністю і за необхідності перетворює (наприклад, змінний струм у постійний). Використовують електронні, електромагнітні, гідравлічні, пневматичні підсилювачі;
- 7 - виконавчий пристрій, який безпосередньо впливає на об'єкт;
- 10 - чутливий елемент або вимірювальний пристрій, призначений для вимірювання дійсного значення вихідної величини і перетворення її на сигнали, зручні для подальшого використання. Це можуть бути різного роду датчики сигналів (потенціометри, тахогенератори, термометри, сельсини і т.д.). У багатьох системах вимірювальний, порівнюючий, задаючий пристрої об'єднані в один елемент, що утворює сигнал похибки $E(t)$.

Принципи керування та класифікація САК

Режими роботи САК

- Будь-яка САК працює в двох режимах, а саме:
- усталеному,
- перехідному.
- **Усталений режим** роботи системи - це режим, в якому незмінною в часі є похибка регулювання. Цей режим устатовлюється по завершенні перехідних процесів. Розрізняють такі устатовлені режими роботи:
 - статичний,
 - динамічний.
- **Статичний усталений режим** наступає тоді, коли незмінними в часі є задаюча і збурююча дії при незмінних параметрах системи, в результаті чого незмінною залишається вихідна величина системи.

- **Динамічний усталений режим** настає тоді, коли задаюча, збурююча чи вихідна величина змінюється за постійним в часі законом і похибка регулювання системи залишається незмінною. Наприклад, динамічні режими можуть бути, коли задаюча величина змінюється за синусоїдальним законом, коли вона змінюється з постійними в часі швидкістю чи прискоренням. Динамічним режимом є, наприклад, режим роботи регулятора рівня, коли рідина з резервуара витікає з постійною швидкістю.
- **Перехідний режим** - це такий режим роботи системи, коли вона переходить з одного встановленого режиму роботи до іншого. Цей режим настає тоді, коли змінюється задаюча величина і систему переводять з одного режиму роботи до іншого, або змінюється величина збурення чи змінюються параметри системи. Перехідний процес у різних системах керування проходить по-різному. Змінюючи параметри системи можна змінити характер перехідного режиму.



Перехідні процеси в САК

Вимоги до САК

- Будь-яка САК повинна забезпечити:
- стійкість керування;
- потрібну точність керування;
- якість роботи, що визначається характеристиками перехідних режимів роботи.

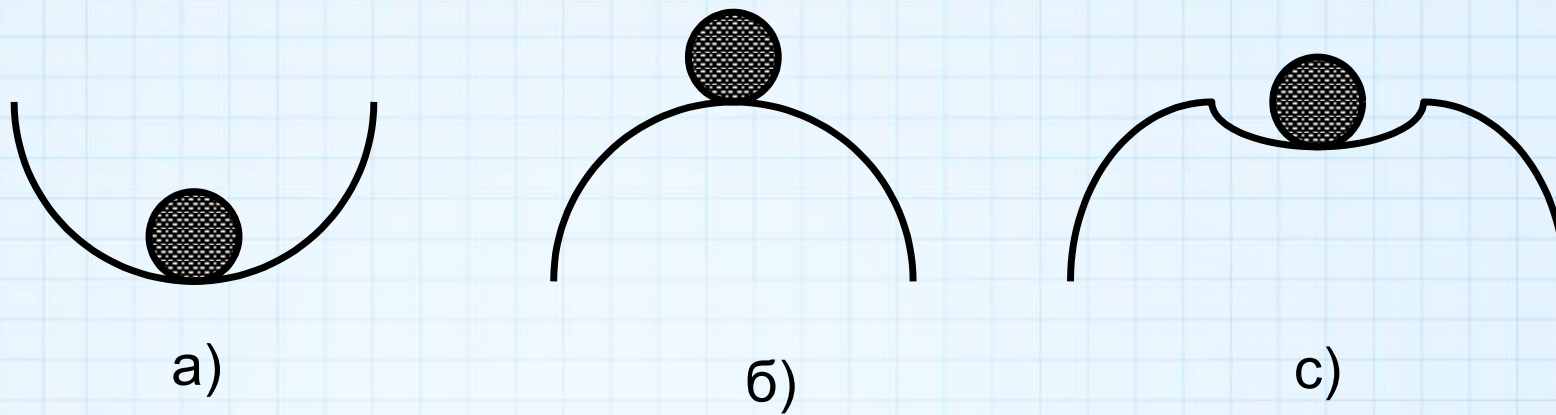


Рис. 2.2 – Приклади стійкої та нестійкої системи
а) стійка система; б) нестійка система; с) система стійка «в малому» та нестійка «у великому».

Стійкість системи – це здатність системи повертатись до попереднього чи близького до нього стану після певної дії на систему.

Стійка система – це система, яка після того як на неї подіяла інша система, змінився характер взаємодії системи з іншими, чи змінились параметри самої системи, повертається до попереднього або близького до нього стану.

Нестійка система, після певної дії на неї, вже не повертається до попереднього стану, а відхилення від цього стану у неї збільшується.

- **Точність керування.** Точність керування визначається похибкою керування в усталеному режимі роботи. *Похибка керування* – це різниця між потрібним значенням вихідної величини, яке обумовлене значенням задаючого сигналу і фактичним значенням, яке є на виході системи. Потрібна точність керування - важлива вимога до САК.

- Експлуатаційні характеристики систем керування визначає **якість перехідних процесів**. Від характеристики перехідних процесів залежить як САК працюють в умовах керування. Ці характеристики визначаються **часом перехідного процесу, амплітудою коливань під час перехідного процесу, їх частотою** та іншими характеристиками.

Принципи керування

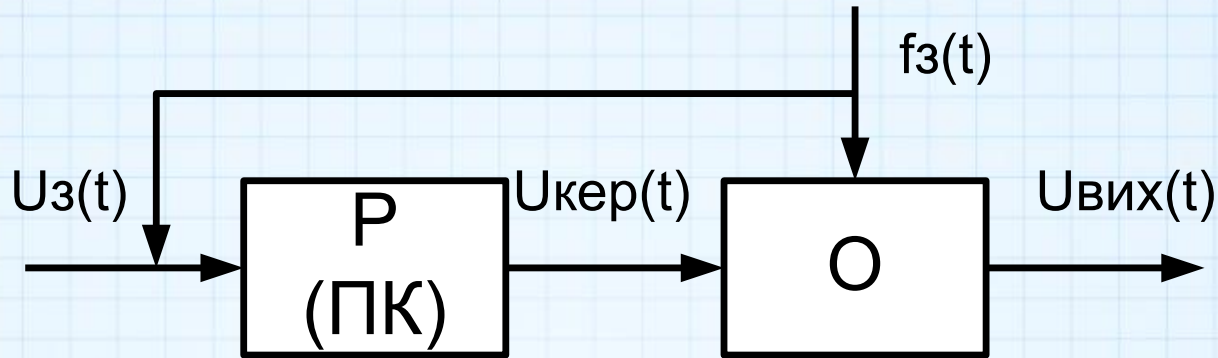
Робота усіх типів САК, приклади яких було розглянуто, заснована тільки на двох принципах керування, а саме:

- керуванні за збуренням;
- керуванні за відхиленням.

Крім цього використовують і:

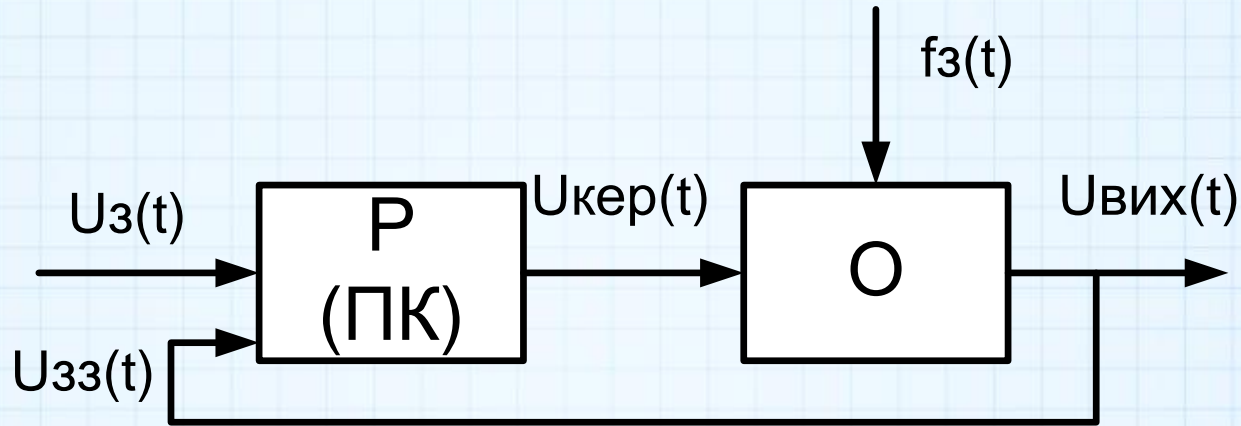
- комбіноване керування.

Функціональна схема керування за збуренням



ПК – пристрій керування (або регулятор), О – об'єкт керування, $U_z(t)$ – задаючий сигнал, $U_{кер}(t)$ – сигнал керування, $U_{вих}(t)$ – вихідний сигнал, $f_z(t)$ – сигнал збурення.

Функціональна схема керування за відхиленням



- **Комбінований принцип керування**

САУ, що діє за таким принципом, являє об'єднання двох розглянутих систем керування. На пристрій керування подається сигнал про значення збурення і сигнал про значення вихідної величини. Для кожного сигналу існує свій контур регулювання. Разом ми маємо комбіновану систему регулювання, комбінацію двох розглянутих принципів керування.

Класифікація САК

- I. Класифікація за принципом роботи (алгоритмом керування):
 - розімкнуті;
 - замкнуті;
 - комбіновані.
- До **розімкнутих** відносять системи, в яких керування здійснюється за збуренням. Прикладом, такої системи може бути автоматизована районна котельня, яка подає гарячу воду в систему теплозабезпечення мікрорайону. Регулювання температури теплоносія в ній може здійснюватись залежно від температури навколишнього середовища.

- До **замкнених** відносять системи, керування яких здійснюється за відхиленням. Прикладом таких систем є регулятор Уатта.
- До **комбінованих** систем керування відносять ряд складних систем, які встановлюють в автомобілях, в гідро - та теплогенераторах, найрізноманітнішій складній техніці.

Класифікація САК

- II. Класифікація за кількістю контурів регулювання:
 - **одноконтурні;**
 - **двохконтурні;**
 - **багатоконтурні САК.**
- Системи з комбінованим керуванням є **багатоконтурні САК.**

Класифікація САК

- III. Класифікація за характером зміни задаючої величини (за призначенням системи, або за алгоритмом керування). У різних підручниках використовується різна назва:
 - системи стабілізації;
 - слідкуючі системи;
 - системи програмного керування.

Класифікація САК

- IV. Класифікація за кількістю вихідних координат системи:
 - **одномірні;**
 - **багатовимірні.**
- **Одномірні системи** - це системи, які керують тільки за однією вихідною величиною, наприклад, холодильник, двигун з регулятором швидкості, є одномірними системами.
- **Багатовимірні системи** - це системи, які здійснюють керування за декількома вихідними величинами. Наприклад, САК зенітної ракети здійснює керування як за напрямком руху (азимут), так і за нахилом до горизонту. САК генератора електростанції виконує керування за частотою та напругою.

Класифікація САК

- V. За характером рівнянь, які описують систему:
 - лінійні;
 - нелінійні.
- **Лінійні системи** - це системи, які описуються лінійними диференціальними рівняннями. Для лінійних систем справедливий принцип суперпозиції. Принцип суперпозиції (накладання) полягає в тому, що реакція системи на суму дій пропорційна сумі реакцій на кожну дію зокрема.

Класифікація САК

- VI. За характером дії в часі:
 - безперервної дії;
 - дискретної дії.
- **Системи безперервної дії** складаються тільки з ланок, в яких вихідна величина плавно змінюється протягом часу. Безперервні, або аналогові, САУ складаються з ланок та елементів, в яких безперервній модифікації вхідного сигналу відповідає безперервна модифікація вихідного. Якщо хоча б в одному елементі САУ порушується безперервний зв'язок між вхідною і вихідною величинами, така система є дискретною.
- **Системи дискретної дії** мають хоча б один елемент вихідна величина, якого замінюється ступенями, навіть при плавній зміні всіх інших величин.

- Розрізняють такі дискретні системи:
 - релейні;
 - імпульсні,
 - цифрові.
- У системах релейної дії вихідна величина змінюється при деяких граничних значеннях вхідної величини, в системах імпульсної дії – через певні проміжки часу, а в цифрових системах і те, й інше.

Релейні системи, побудовані на релейних елементах (рис. 1, а). Найпростішим релейним елементом є електромагнітне реле (рис. 1, б). При збільшенні вхідної напруги до певної величини реле спрацьовує і на виході з'являється напруга $U_{вих} = U_0$.

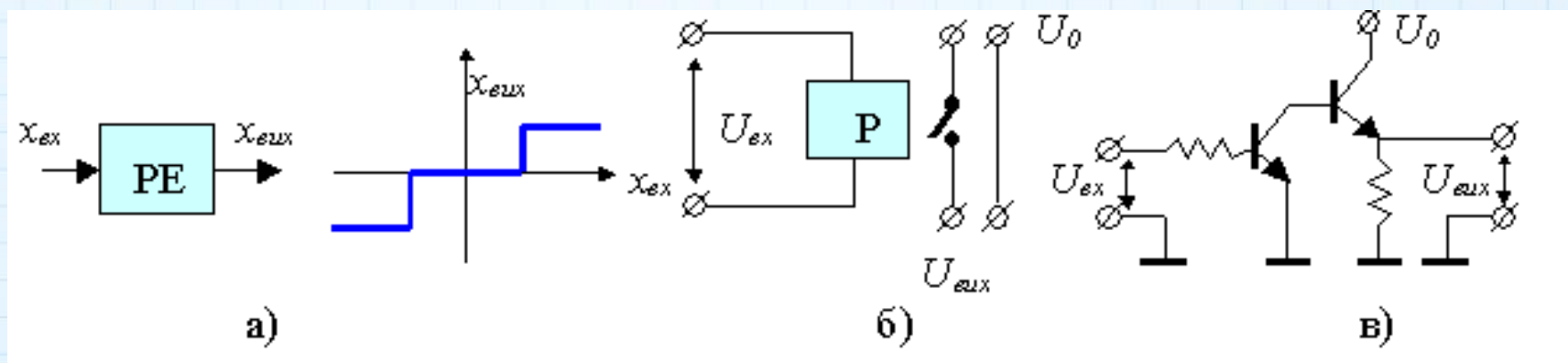


Рис.1. Релейні елементи: а) – схематичне зображення та характеристика; б) – електромагнітне реле; в) – транзисторний ключ

- Використовують також безконтактні релейні елементи, наприклад, транзисторні ключі, у яких при подачі керуючого (вхідного) сигналу опір змінюється стрибком (рис. 1, в). Якість такого ключа характеризується відношенням опору в закритому стані до опору у відкритому стані. Ця величина може сягати 10^6 , тому чутливість електронних ключів значно перевищує чутливість електромагнітних реле.

- У дискретних системах для узгодження дискретної й аналогової частин і навпаки, використовують **цифро-аналогові (ЦАП)** та **аналого-цифрові (АЦП)** перетворювачі. ЦАП перетворює цифровий код на вході на аналогову величину, наприклад напругу, на виході. АЦП перетворює аналогову вхідну величину на цифровий, звичайно двійковий, код. Робота перетворювачів пояснюється діаграмами (рис. 1.2).

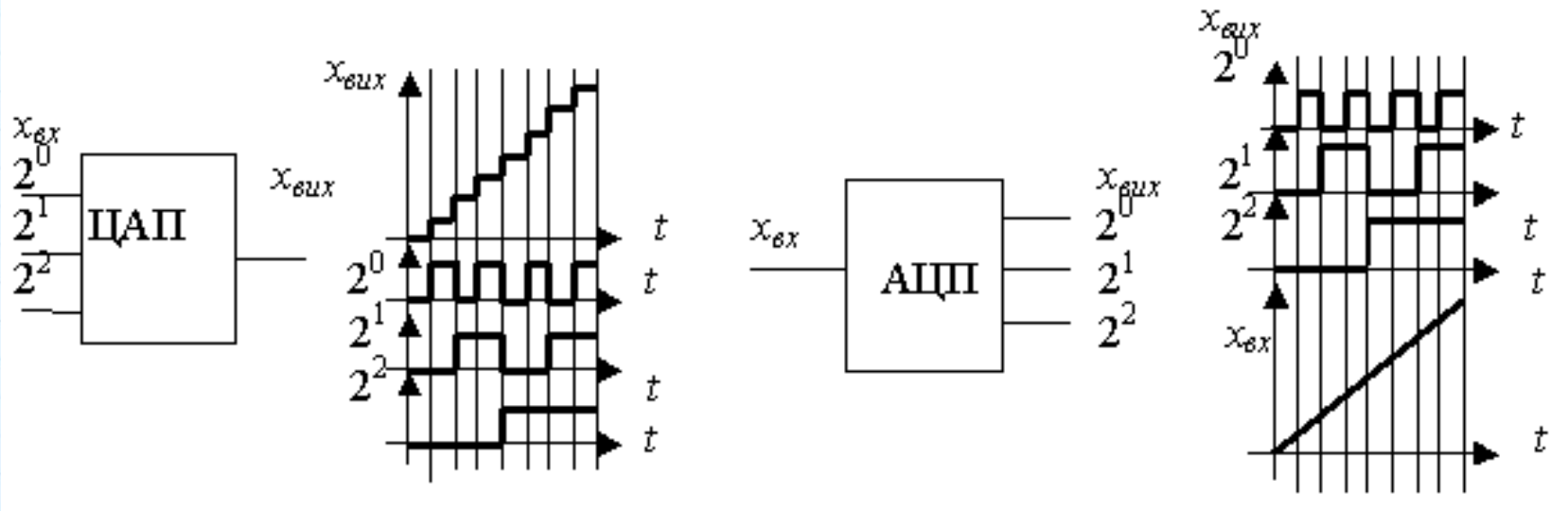


Рис.1.2. Часові діаграми функціонування ЦАП і АЦП

Класифікація САК

- VII. За зміною параметрів системи в часі САК поділяють на:
 - стаціонарні;
 - нестаціонарні.
- **Стаціонарна система** - це така система, параметри якої незмінні протягом часу.
- **Нестаціонарна система** має параметри, які змінюються з часом. При математичному описі таких систем деякі коефіцієнти диференційного рівняння динаміки системи є функціями часу.

Класифікація САК

- VIII. За точністю керування:
 - статичні;
 - астатичні.
- IX. Залежно від наявності додаткового джерела енергії:
 - прямої дії;
 - непрямої дії.

Класифікація САК

- Х. За способом настройки та реакцією системи на зміну зовнішніх умов:
 - не адаптивні;
 - адаптивні системи.