

Лекція №1

Моделі структур цифрових систем автоматичного керування

Розділ 1.1. Структура системи керування складним технічним об'єктом

В ієрархічній (багаторівневій та взаємно підпорядкованій) структурі системи керування складним технічним об'єктом можливо виділити декілька рівнів, які зображені на рис. 1.1.

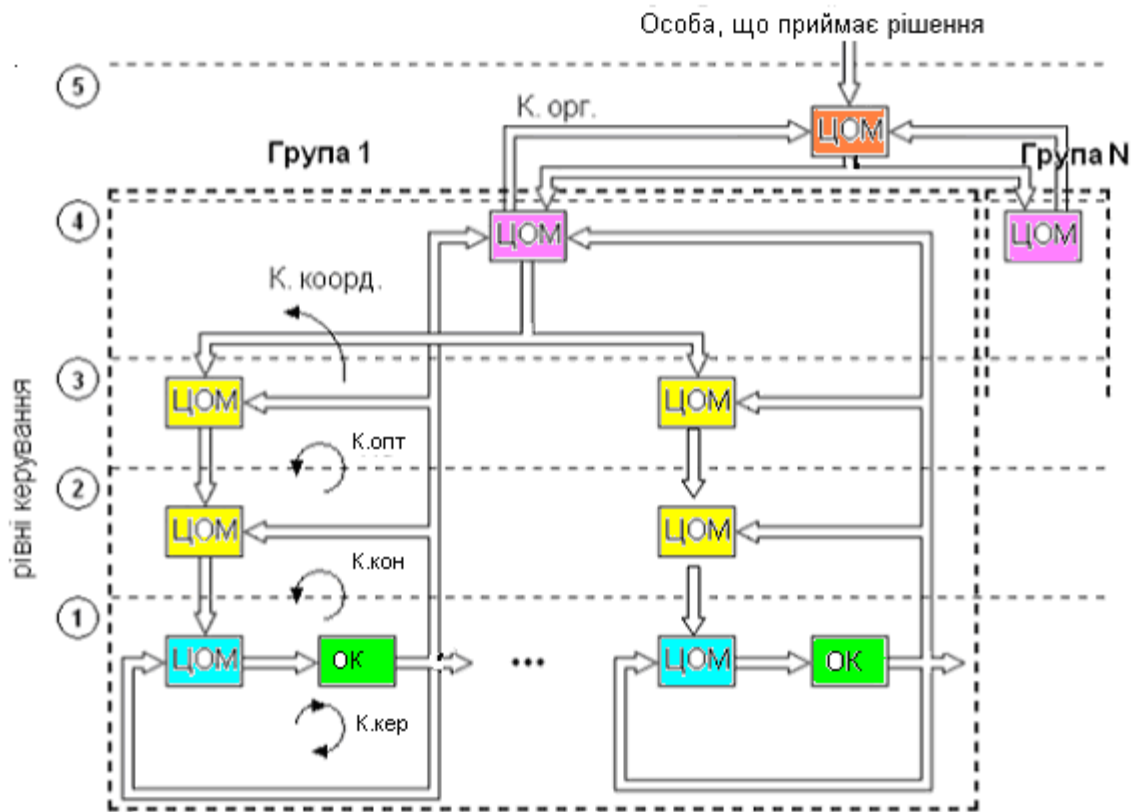


Рис. 1.1 Багаторівнева структура узагальненої цифрової системи автоматичного керування (УЦСАК): *К.кер* – контур керування;

К.кон – контур контролю; *К.опт* – контур оптимізації;

К. коорд. – контур координації; *К. орг.* – контур організації;

ОК – об'єкт керування; *N* - кількість груп ОК; ЦОМ – цифрова обчислювальна машина (мікропроцесор (МП))

На 5-му рівні (рівень організації) виконується загальна організація процесів керування різнорідними групами об'єктів керування (ОК). Діяльність груп збалансована за споживаними сировинними, енергетичними та інформаційними ресурсами.

На 4-му рівні (рівень координації) узгоджується взаємодія декількох однорідних або різнорідних ОК. Виконується координація процесів функціонування ОК, спрямована на підтримку номінальних (розрахункових) показників діяльності груп ОК.

На 3-му рівні (рівень оптимізації) виконується оптимізація сигналів для 1-го та 2-го рівнів керування, в результаті якої мінімізується споживання ресурсів та енергії, максимізується ефективність функціонування ОК.

На 2-му рівні (рівень контролю) реалізована операція контролю за роботою ОК. При цьому спостерігається і прогнозується стан ОК, фіксується порушення значення дозволених меж зміни параметрів ОК, обслуговуючому персоналу передається інформація про можливість виникнення аварійної ситуації. Автоматичне керування, яке спрямоване на подолання аварійної ситуації називається **аварійним** або **кризовим керуванням**.

На 1-му рівні (рівень управління) здійснюється безпосереднє керування ОК за інформацію про його вектор стану та за вхідною керуючою дією. **Контур керування** узагальненої цифрової системи автоматичного керування утворює цифрову систему автоматичного керування (ЦСАК). Цифрова обчислювана машина (ЦОМ) або мікропроцесор є обов'язковим елементом ЦСАК. Можна сказати, що ЦСАК – це система автоматичного керування, до складу якої входить ЦОМ. В даному курсі лекцій головна увага приділяється саме ЦСАК, тобто контуру керування.

Контур керування реалізує поточне (оперативне) керування. В контурах контролю, оптимізації, координації та організації виконується розв'язання відповідних задач, як оперативно так і між робочими циклами об'єктів керування. Якщо контур оптимізації та контур контролю виконують свої функції оперативно, то вони утворюють контур адаптації.

ЦОМ в контурах керування, контролю та оптимізації вирішують наступні задачі: обчислюванні, контролюючі, корегуючі.

Обчислюванні задачі полягають у визначенні різниці між програмним заданим значенням величини, якою управляють та її поточним значенням і розрахунку величини сигналу, що подається на виконуючий пристрій в контурі керування.

Корегуючі задачі полягають в корекції динамічних властивостей ОК або структури контуру керування, або самого задаючого сигналу для контуру керування.

Контрольні задачі полягають в тому, щоб контролювати поточну роботоздатність контуру керування, виявляти тенденції наближеного ЦСАК до аварійного стану, видавати сигнал для переходу контуру керування до режиму кризового керування.

Основні методи дослідження та вивчення ЦСАК:

1. Натурне моделювання - використовується справжній ОК та реальна (бортова) ЦОМ, тобто ЦОМ, яка використовується на реальному ОК.
2. Напівнатурне моделювання - на стаціонарному комп'ютері моделюють складові ОК та алгоритми роботи бортової ЦОМ.
3. Аналітичні дослідження - теоретичні дослідження із використанням математичних методів формального аналізу і синтезу.
4. Імітаційне комп'ютерне моделювання полягає в моделюванні на комп'ютері процесу функціонування ОК із імітацією різноманітних (детермінованих та випадкових, дискретних та неперервних, структурних та параметричних, лінійних та нелінійних, врахованих та неврахованих при побудові математичної моделі ЦСАК) впливів, збурень, завад, збоїв, шумів, аварійних ситуацій.

Розділ 1.2. Моделі структур контуру керування

Розглянемо більш детально моделі структур контуру керування (див.рис.1.2).

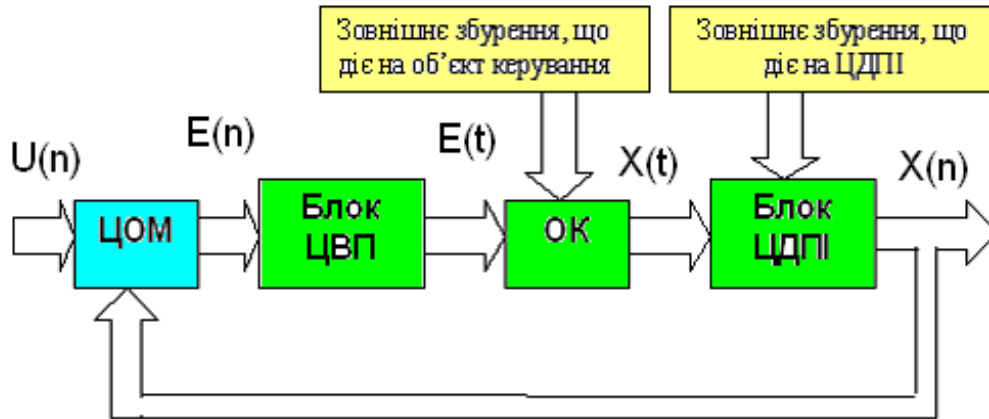


Рис. 1.2. Модель структури ЦСАК із векторною обробкою інформації (модель типу МІМО- систем – Multi-Input Multi-Output): ЦВП – цифрові виконуючі пристрої; ЦДПІ – цифрові датчики первинної інформації

Цифровий векторний сигнал $U(n)$, що надходить із контуру контролю (рис.1.2.), порівнюється із цифровим векторним сигналом блоку цифрових датчиків первинної інформації $X(n)$, обробляється в ЦОМ і у вигляді цифрового векторного сигналу $E(n)$ подається на вхід блоку цифрових виконуючих пристроїв. На об'єкт керування діє аналоговий (неперервний) векторний керуючий сигнал $U(t)$, завдяки якому змінюється вектор стану об'єкту керування $X(t)$.

Деталізація моделі структури ЦСАК із векторною обробкою інформації представлена на рис.1.3 та 1.4.

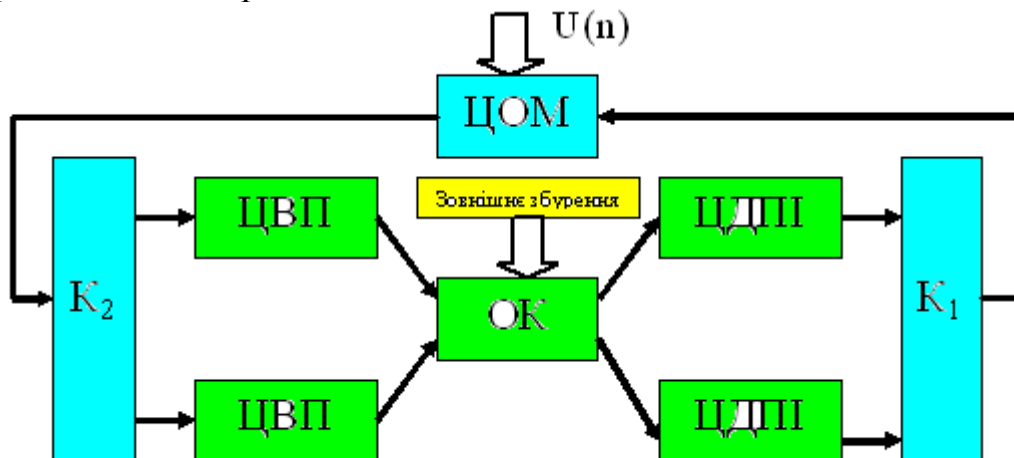


Рис. 1.3. Модель структури ЦСАК із централізованою обробкою інформації

Компоненти цифрового векторного сигналу $U(n)$, що надходить із контуру контролю (рис.1.3.), порівнюються із вихідними сигналами цифрових датчиків первинної інформації про компоненти вектору стану об'єкта керування, які завдяки комутатору K_1 подаються в центральний процесор ЦОМ. Результат порівняння та обробки через комутатор K_2 направляється у відповідних канал для відпрацювання цифровим виконуючим пристроєм.

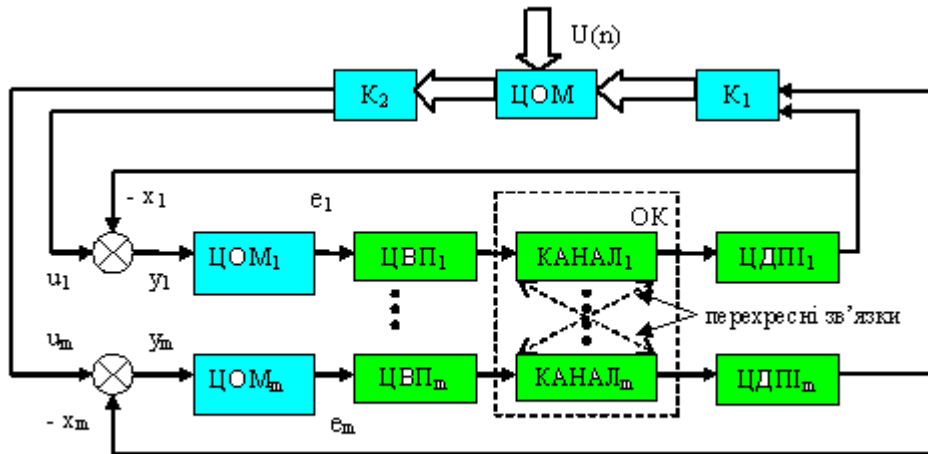


Рис. 1.4. Модель структури ЦСАК із розподіленою по каналах обробкою інформації

В деяких випадках зручно виконувати цифрову обробку інформації по окремих каналах: КАНАЛ_i із окремими ЦДП_i, ЦОМ_i та ЦВП_i ($i = \overline{1, m}$). При цьому перехресними зв'язками між каналами, що притаманні фізичній природі об'єкта керування, або нехтують, або ці зв'язки компенсують спеціальними сигналами.

Розглянемо окремий канал ЦСАК (див. рис 1.5).

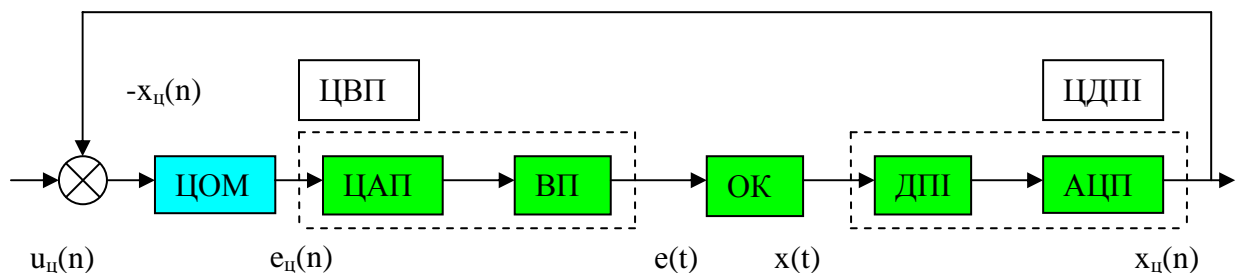


Рис. 1.4. Модель структури окремого каналу ЦСАК (модель типу SISO-систем – Single-Input Single-Output)

Скалярний цифровий сигнал $u_y(n)$ (рис. 1.5) задає бажаний рух об'єкта керування. Цей сигнал, після порівняння із скалярним цифровим сигналом з виходу цифрового датчика первинної інформації (ЦДП) $x_y(n)$, подається в

ЦОМ для обчислення керуючого скалярного аналогового (неперервного) впливу $e(t)$ на об'єкт керування із використанням цифрового виконуючого пристрою (ЦВП), на вході якого діє скалярний цифровий сигнал $e_u(n)$.

Модель дії ЦДПІ можливо представити як результат дії послідовно з'єднаних аналогового датчика первинної інформації (ДПІ), який вимірює окрему складову вектору стану ОК $x(t)$, та аналогово-цифрового перетворювача (АЦП).

АЦП – це пристрій, який перетворює аналоговий (неперервний за часом та рівнем) сигнал, що діє на його вході, у цифровий (дискретний за рівнем та часом) сигнал, що діє на його виході.

Модель дії ЦВП можливо представити як результат дії послідовно з'єднаних цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) та аналогового виконуючого пристрою (ВП).

ЦАП – це пристрій, який перетворює цифровий (дискретний за рівнем та часом) сигнал, що діє на його вході, у аналоговий (неперервний за часом та рівнем) сигнал, що діє на його виході.

Специфічні властивості ЦСАК полягають у наступному:

1. У дискретизації (квантуванні за рівнем та часом аналогового (неперервного)) сигналу на виході АЦП.
2. У перетворенні дискретного (квантованого за рівнем та часом сигналу) у неперервний на виході ЦАП.
3. В суттєвій перевазі ЦСАК порівняно із аналоговими САК в стабільності параметрів алгоритму керування і можливості реалізації алгоритму керування будь-якого рівня складності.

Розділ 1.3. Приклад синтезу алгоритму цифрового автоматичного керування температурою повітря в салоні (приміщенні) мобільного центру обробки інформації літаючої (повітряної) сенсорної мережі

Літаюча (повітряна) сенсорна мережа із мобільним центром обробки інформації призначена для застосування у зоні надзвичайної ситуації, де можливі значні зовнішні температурні впливи. Для прецизійної підтримки

заданого значення температури повітря в салоні (приміщенні), де розташовано обладнання для обробки і зберігання інформації, пропонується застосувати цифрову систему автоматичного керування. Це дозволить забезпечити номінальний режим функціонування мобільного центру обробки інформації.

Для синтезу алгоритму цифрового автоматичного керування температурою повітря в салоні (приміщенні) мобільного центру обробки інформації літаючої (повітряної) сенсорної мережі пропонується застосувати методику, згідно з якою необхідно:

1. Обрати прототип ЦСАК і вивчити принцип його дії.
2. Побудувати комп'ютерну математичну модель прототипу і дослідити на моделі його властивості.
3. Виконати вдосконалення прототипу шляхом застосування цифрового закону керування, який побудовано на основі цифрового пропорційно-інтегрального регулятора (ЦПІД-регулятора).
4. Налаштувати ЦПІД-регулятор із використанням методу Зіглера-Ніколса.
5. Виконати порівняльний комп'ютерний експеримент (імітаційне моделювання) прототипу та вдосконаленої системи керування.
6. Зробити висновок.

Виконання пунктів методики

1. В якості прототипу системи використаємо аналогову систему терморегулювання, спрощена принципова схема якої показана на рис.1.5. Робота системи полягає в наступному. Мостова схема разом з чутливим елементом (R_{tr}) виконує функцію датчика температури T_c в салоні (приміщенні) мобільного центру обробки інформації, тобто датчика первинної інформації (ДПІ). Якщо температура повітря T_c дорівнює заданій T_{co} , то міст збалансовано. У випадку відхилення температури повітря T_c в салоні (приміщенні) мобільного центру обробки інформації від заданої температури T_{co} , яка задається за допомогою R_{co} , з мосту знімається напруга, величина і знак якої залежить від величини та знаку відхилення

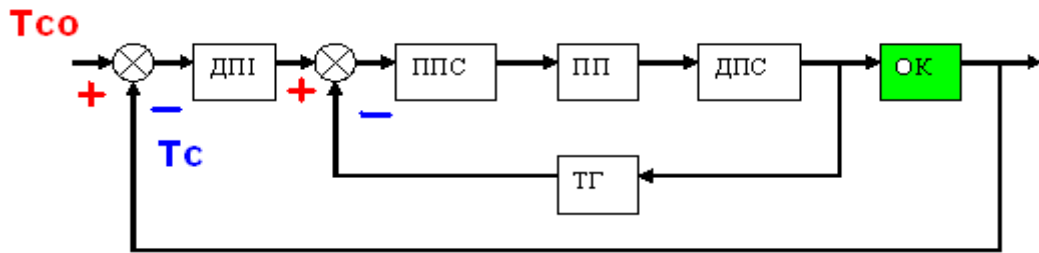


Рис. 1.6. Структурна схема математичної моделі аналогової (неперервної) системи автоматичного керування – системи, яка обрана прототипом для побудови ЦСАК

Припустимо, що математичні моделі ДПІ, ППС, ПП, ДПС, ТГ, ОК, які є складовими структурної схеми (рис. 1.6), представлені передавальними функціями вигляду відповідно:

$$W_{dpi}(s) = \frac{1}{0.001s+1}; \quad W_{pps}(s) = \frac{5}{0.01s+1}; \quad W_{pp}(s) = \frac{2}{0.03s+1};$$

$$W_{dps}(s) = \frac{1}{0.04s^2 + 1.3s + 1}; \quad W_{tg}(s) = 1; \quad W_{ok}(s) = \frac{5}{7s+1}.$$

Комп'ютерна математична модель, яка побудована із використанням системи комп'ютерної математики MATLAB+Simulink, представлена на рис. 1.7.

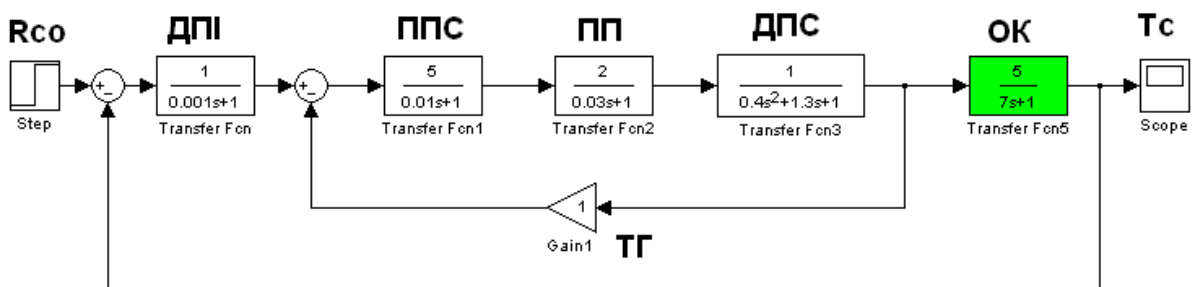


Рис. 1.7. Комп'ютерна математична модель аналогової системи автоматичного керування,

яка обрана в якості прототипу для побудови ЦСАК:

R_{co} позначає резистор, зміна опорного значення задає бажану температуру; осцилограф, який позначено T_c , дозволяє спостерігати перехідний процес зміни температури повітря

Перехідний процес, який відображає зміну в часі температури повітря в салоні (приміщені) мобільного центру обробки інформації літаючої (повітряної) сенсорної мережі, представлено на рис. 1.8.

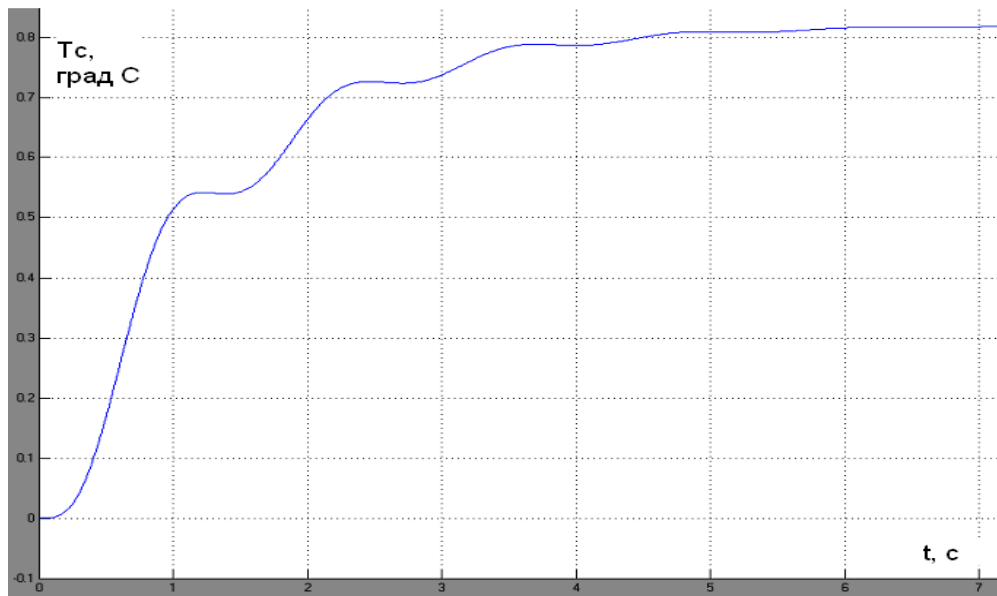


Рис.1.8. Результат комп'ютерного моделювання перехідного процесу системі терморегування, яка обрана у якості системи-прототипу

Результати моделювання показують, при зміні заданої температури в системі виникають „додакові” перехідні процеси, що може негативно вплинути на роботу мобільного центру обробки інформації літаючої (повітряної) сенсорної мережі. Виконаємо вдосконалення системи терморегулювання повітря завдяки використанню ЦПД-регулятора.

3.Вдосконалена, завдяки використанню ЦПД-регулятора, структурна схема математичної моделі системи терморегулювання повітря в салоні (приміщені) мобільного центру обробки інформації літаючої (повітряної) сенсорної мережі, представлено на рис. 1.9.

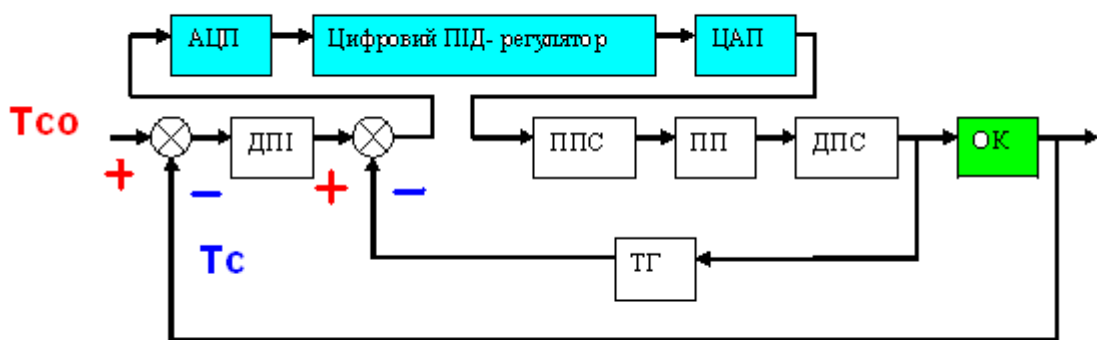


Рис. 1.9. Структурна схема математичної моделі ЦСАК температурою повітря

Комп'ютерна математична модель ЦСАК температурою повітря, яка побудована із використанням системи комп'ютерної математики MATLAB+Simulink, представлена на рис. 1.10.

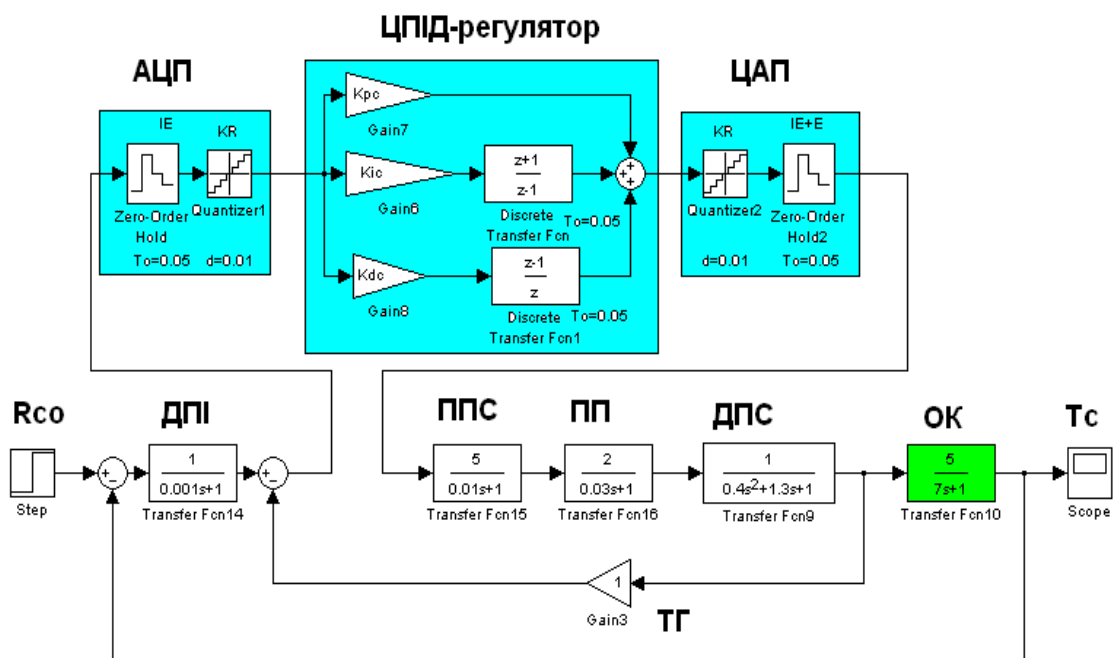


Рис. 1.10. Комп'ютерна математична модель ЦСАК, яка побудована із використанням цифрового пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора (ЦПІД-регулятора): K_{pc} , K_{ic} , K_{dc} – коефіцієнти передачі цифрового сигналу у каналах відповідно пропорційному, інтегральному та диференціальному

4. Налаштування $K_{рс}$, $K_{іс}$, $K_{дс}$ – коефіцієнтів передачі цифрового сигналу ЦПД-регулятора виконаємо із використанням методу Зіглера-Ніколса.

Етапи методу

1). Побудувати комп'ютерну математичну модель аналогової (неперервної) САУ температурою повітря із аналоговим ПД – регулятором (див. рис. 1.11)

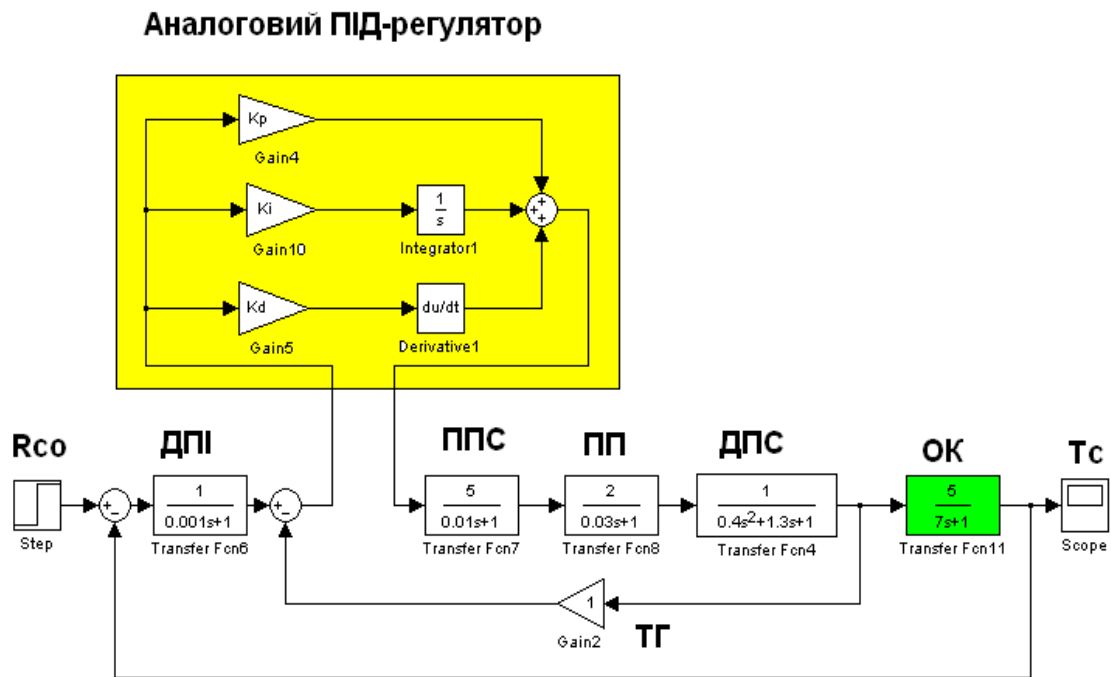


Рис. 1.11. Комп'ютерна математична модель аналогової (неперервної) САУ температурою повітря, яка використовується для налаштування ПД-регулятора

- 2). Встановити значення коефіцієнтів аналогового ПД - регулятора $K_i=0$, $K_d=0$, а величину коефіцієнта K_p , починаючи із $K_p=1$, змінювати до того значення K_0 , при якому система стане коливальною і можливо виділити приблизно 5-7 точок перетину графіку перехідного процесу зі сталим рівнем.
- 3) При $K_p = K_0$ необхідно виміряти по графіку перехідного процесу період коливаний цього процесу. Позначимо цей період P_0 .
- 4). Обчислити раціональні значення коефіцієнтів аналогового та цифрового ПД-регуляторів (див.табл.1.1).

В результаті комп'ютерного моделювання отримано: $K_0 = 2$, $P_0 = 2$ с.

Таблиця 1.1

Формули для обчислення раціональних (прийнятних) значень коефіцієнтів аналогового та цифрового ПІД-регуляторів

Аналоговий ПІД - регулятор	Цифровий ПІД - регулятор
$K_p = 0,6 * K_0$	$K_{pc} = 0,6 * K_0$
$K_i = 1,2 * (K_0 / P_0)$	$K_{ic} = 1,2 * (K_0 / P_0) * (T_0 / 2)$
$K_d = 0,075 * K_0 * P_0$	$K_{dc} = (0,075 * K_0 * P_0) / T_0$

Після підстановки $K_0 = 2$, $P_0 = 2$ с та $T_0 = 0,05$ с у формули, що записані в табл.1.1, отримаємо шукані значення коефіцієнтів:

$$K_p = 0,6 * K_0 = 0,6 * 2 = 1,2; K_i = 1,2 * (K_0 / P_0) = 1,2 * 2 / 2 = 1,2;$$

$$K_d = 0,075 * K_0 * P_0 = 0,075 * 2 * 2 = 0,3 \text{ для аналогового ПІД-регулятора та}$$

$$K_{pc} = 0,6 * K_0 = K_p = 1,2, K_{ic} = 1,2 * (K_0 / P_0) * (T_0 / 2) = K_i * T_0 / 2 = 1,2 * 0,05 / 2 = 0,03,$$

$$K_{dc} = (0,075 * K_0 * P_0) / T_0 = K_d / T_0 = 0,3 / 0,05 = 6, \text{ де } T_0 \text{ – період (крок) квантування за часом, який обрано таким, що він дорівнює } 0,05 \text{ с.}$$

5.Результати порівняльного комп'ютерного експерименту (імітаційне моделювання) якості функціонування системи-прототипу та вдосконаленої системи керування, в якій застосовано ЦПІД-регулятор, представлені на рис. 1.12.

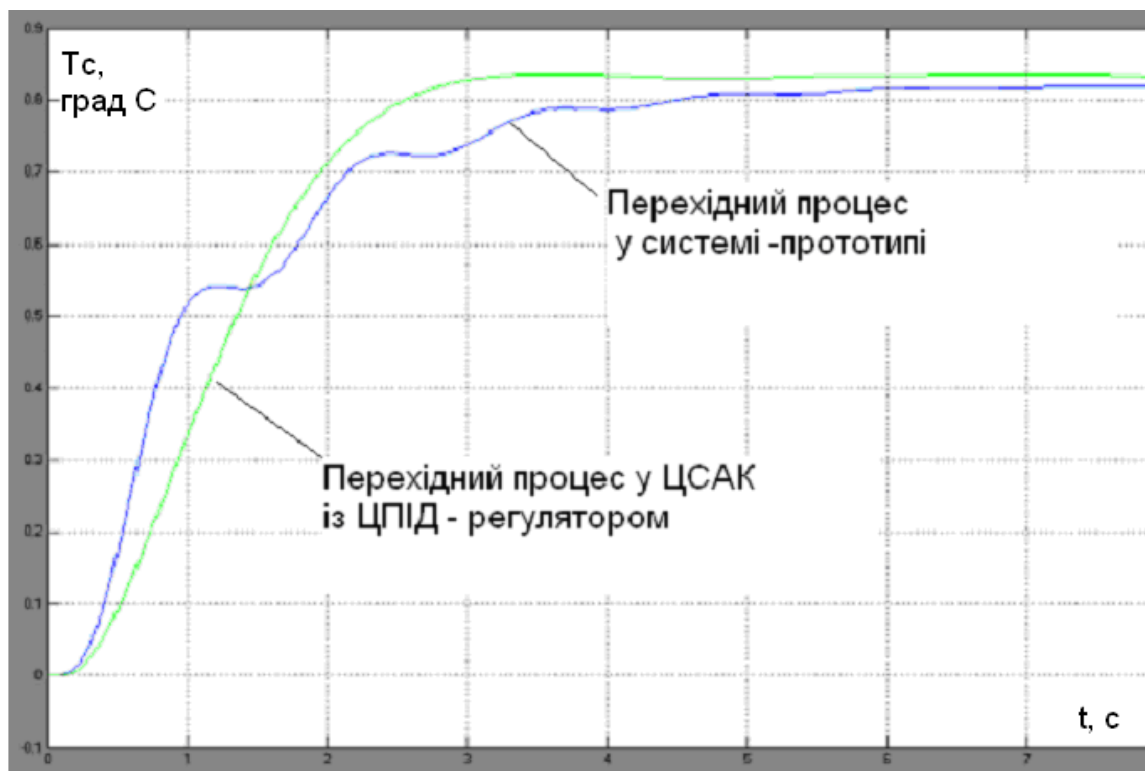


Рис.1.2. Результати порівняльного комп'ютерного експерименту

6.ВИСНОВОК

1. Завдяки використанню ЦСАК , що побудована на основі алгоритму цифрового пропорційно-інтегрально-диференціального регулювання (ЦПІД-регулятор) вдалося зменшити майже на 30% час тривалості перехідного процесу та уникнути додаткових коливань у цьому процесі.

Таке покращення якості регулювання температури повітря в салоні (приміщені) мобільного центру обробки інформації літаючої (повітряної) сенсорної мережі створює умови для підвищення надійності функціонування цього центру.

2. Подальшого покращення якості роботи ЦСАК температурою повітря в салоні (приміщені) мобільного центру обробки інформації можливо досягти завдяки побудові адаптивної ЦСАК.