

**Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Національний університет цивільного захисту України
Кафедра автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник кафедри АСБтаІТ
Роман ШЕВЧЕНКО

Навчальна дисципліна

**СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ
ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ**

Лекція № 5

МЕТОДИ СИНТЕЗУ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ

Лекцію розробив:
Доцент кафедри АСБтаІТ



Вячеслав ДУРЕСОВ

ХАРКІВ 2024

Зміст лекції:

Вступ

1. Поняття синтезу

2. Синтез АС з П - законом регулювання

Статична точність САР з П - законом регулювання

Динамічна точність САР з П - законом регулювання

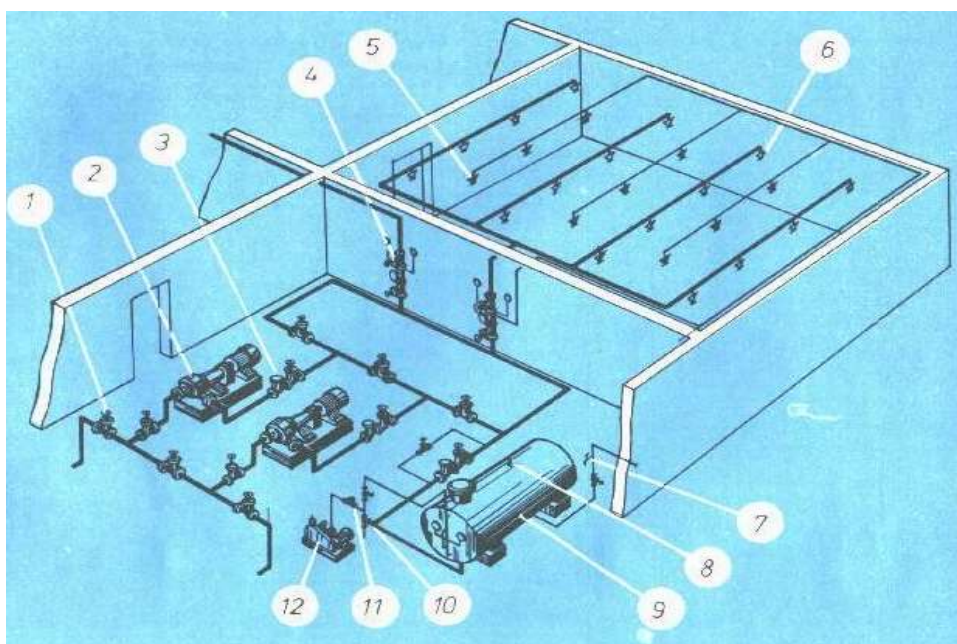
3. Синтез АС з І - законом регулювання

Статична точність САР з І - законом регулювання

Динамічна точність САР з І - законом регулювання

Вступ

В четвертій лекції, на прикладі АУВПГ, було показано як математично оцінити їх сумісну роботу у складі АУВПГ. Сьогодні розглянемо, як оцінити роботу АУВПГ.



1. Поняття синтезу

Під синтезом АС розуміють визначення структури і параметрів регулятора, що забезпечує задану якість регулювання. Це складна варіаційна задача, що не має однозначного рішення. Тому на практиці задача синтезу АС часто вирішується виходячи з наявного досвіду. У цьому випадку і структура регулятора вибирається з досвіду чи по наявному прототипі.

Метод стандартних коефіцієнтів.

Метод стандартних коефіцієнтів дозволяє визначити параметри регулятора, що забезпечує задану якість динамічних процесів при відомій структурі АС. Нехай АС має передатну функцію загального виду:

$$W(p) = \frac{A(p)}{L(p)}.$$

Динамічні властивості АС визначаються коренями характеристичного рівняння передатної функції АС.

$$L(p) = 0,$$

де $L(p)$ – характеристичний поліном АС у загальному виді:

$$L(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + a_2 p^{n-2} + \dots + a_{n-1} p + a_n.$$

Чи в стандартному виді:

$$L(p) = T^n p^n + \alpha_1 T^{n-1} p^{n-1} + \alpha_2 T^{n-2} p^{n-2} + \dots + \alpha_{n-1} T p + 1$$

Встановлено, що час аперіодичного перехідного процесу буде мінімальним, якщо система містить n кратних негативних речовинних коренів. У цьому випадку характеристичний поліном АС може бути представлений у виді:

$$L(p) = a_0 (p - p_1)^n, \text{ чи } L(p) = (Tp - 1)^n - (\text{біном Ньютона}).$$

Тоді числові значення коефіцієнтів $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ характеристичного рівняння АС у стандартному виді будуть відповідати відомим коефіцієнтам розкладання бінома Ньютона.

n	Коефіцієнти бінома Ньютона								Таблиця 1	
1									$t_{R/T}$	
2									3	
3									4	
4									,75	
5									6,3	
									8	
									9	
	1	6	15	20	15	6	1			

Коефіцієнти при невеликій коливальності, з забросом РП не більш 5%:

Таблиця 2

n	Коефіцієнти характеристичного рівняння				$t_{R/T}$
1	1	1			3
2	1	1,4	1		3

3
4

1	2,5	2,5	1	
1	3	4,2	3	1

4
4,5
5,2

Таким чином, при розрахунку АС методом стандартних коефіцієнтів параметри регулятора повинні бути такими, щоб чисельні значення коефіцієнтів характеристичного рівняння відповідали стандартним коефіцієнтам табл.1 чи 2.

2. СИНТЕЗ АС З П - ЗАКОНОМ РЕГУЛЮВАННЯ

Виконаємо розрахунок параметрів САР із пропорційним законом регулювання. Нехай динаміка ОУ описується інерційною позиційною ланкою:

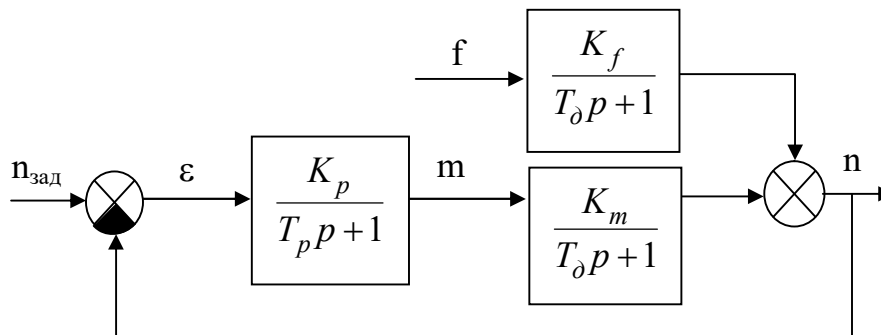
$$T_d \dot{\bar{n}} + \bar{n} = K_m \cdot \bar{m} + K_f \cdot \bar{f},$$

де $\bar{m}$ - регулюючий фактор; $\bar{f}$ - зовнішнє збурювання.

Виберемо пропорційний закон регулювання:

$$T_p \dot{\bar{m}} + \bar{m} = K_p \cdot \bar{\varepsilon}, \text{ де } \bar{\varepsilon} = \bar{n}_{\text{ЗАД}} - \bar{n}.$$

Функціональна схема САР буде мати вид:



СТАТИЧНА ТОЧНІСТЬ САР З П - ЗАКОНОМ РЕГУЛЮВАННЯ

Досліджуємо статичну точність САР з П - законом регулювання при дії східчастого сигналу $\bar{f}(t) = a$. Відповідно до теореми про граничне співвідношення:

$$\bar{\varepsilon}_f(\infty) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \varepsilon_f(p); \text{ де } \varepsilon_f(p) = W_{\varepsilon/f}(p) \cdot f.$$

Щоб визначити статичну помилку необхідно знати передатну функцію $W_{\varepsilon/f}(p)$, що легко визначити за функціональною схемою САУ.

$$W_{\frac{\varepsilon}{f}}(p) = \frac{-\frac{K_f}{T_d p + 1}}{1 + \frac{K_p}{T_p p + 1} \cdot \frac{K_m}{T_d p + 1}} = \frac{-K_f(T_p p + 1)}{T_p T_d p^2 + (T_p + T_d)p + 1 + K_p K_m}$$

Визначимо статичну помилку при дії східчастого сигналу збурювання. Зображенням східчастої функції є $f = \frac{a}{p}$, тоді:

$$\bar{\varepsilon}_f(\infty) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot W_{\frac{\varepsilon}{f}}(p) \cdot f = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \frac{-K_f(T_p p + 1)}{T_p T_d p^2 + (T_p + T_d)p + 1 + K_p K_m} \cdot \frac{a}{p}$$

$$\bar{\varepsilon}_f(\infty) = \frac{-K_f \cdot a}{1 + K_p K_m}$$

ВИСНОВКИ:

1. При дії східчастого сигналу ЗЗ помилка регулювання не дорівнює нулю. Отже, АС статична. Статизм даного регулятора закладений у самій природі закону регулювання, тому що для існування регулюючого впливу, необхідна наявність помилки регулювання:

$$\bar{m} = K_p \cdot \bar{\varepsilon}$$

2. Величина статичної помилки залежить від параметрів регулятора. Для зменшення помилки регулювання при дії ЗЗ необхідно збільшувати коефіцієнт підсилення регулятора K_p

ДИНАМІЧНА ТОЧНІСТЬ САР З П - ЗАКОНОМ РЕГУЛЮВАННЯ

Досліджуємо динамічні властивості АС із пропорційним законом регулювання при східчастому сигналі перенастроювання. З цією метою визначимо передатну функцію $W_{n/n_{зад}}(p)$.

$$W_{n/n_{зад}}(p) = \frac{\frac{K_p}{T_p p + 1} \cdot \frac{K_m}{T_d p + 1}}{1 + \frac{K_p}{T_p p + 1} \cdot \frac{K_m}{T_d p + 1}} = \frac{K_p \cdot K_m}{T_p T_d p^2 + (T_p + T_d)p + (1 + K_p K_m)}$$

Приведемо отримане вираження до стандартного виду, розділивши чисельник і знаменник на $1 + (K_p K_m)$, одержимо:

$$W_{n/n_{\text{зад}}} (p) = \frac{\frac{K_p \cdot K_m}{1 + K_p K_m}}{\frac{T_p T_d}{1 + K_p K_m} p^2 + \frac{(T_p + T_d)}{1 + K_p K_m} p + 1} = \frac{K_{\text{cap}}}{T_{\text{cap}}^2 p^2 + 2d T_{\text{cap}} p + 1}$$

Видно, що розглянута АС описується ланкою 2-го порядку, властивості якого відомі. Мінімальний час перехідного процесу t відповідає декременту загасання $d=0,7$, при цьому перехідний процес виходить плавним з перерегулюванням не більш 5%.

$$t_{R \min} = 3 T_{\text{cap}}$$

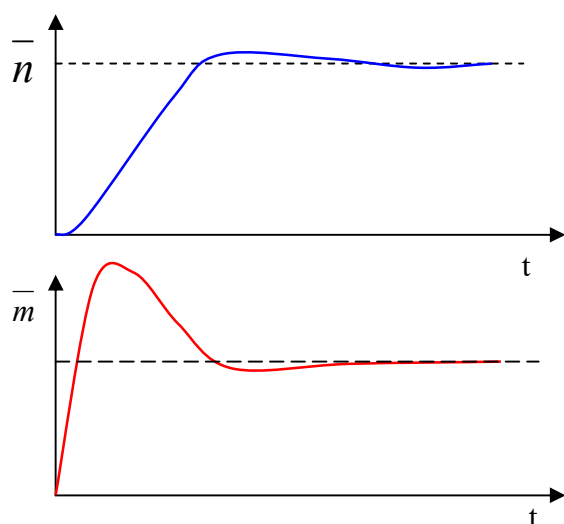
$$T_{\text{cap}}^2 = \frac{T_p T_d}{1 + K_p K_m}; (1) \quad 2 d T_{\text{cap}} = \frac{T_p + T_d}{1 + K_p K_m}. (2)$$

Розділимо рівняння 1 на рівняння 2, одержимо:

$$\frac{T_{\text{cap}}}{2d} = \frac{T_p T_d}{T_p + T_d} \Rightarrow t_{R \min} = 4,2 \frac{T_p T_d}{T_p + T_d}.$$

Висновок: мінімальний час регулювання залежить від властивостей регулятора. Чим вище швидкодія регулятора (менше T_p), тим менше час регулювання. При цьому якість перехідного процесу не погіршується.

Високі динамічні можливості П-регулятора порозуміваються великими надлишковими регулюючими впливами на початковому етапі регулювання. Велика помилка – великий вплив. І попереднім зменшенням регулюючого впливу на кінцевому етапі регулювання



Щоб зменшити час регулювання, необхідно створити як можна більший регулюючий вплив на початковому етапі регулювання.

3. СИНТЕЗ АС З І- ЗАКОНОМ РЕГУЛЮВАННЯ

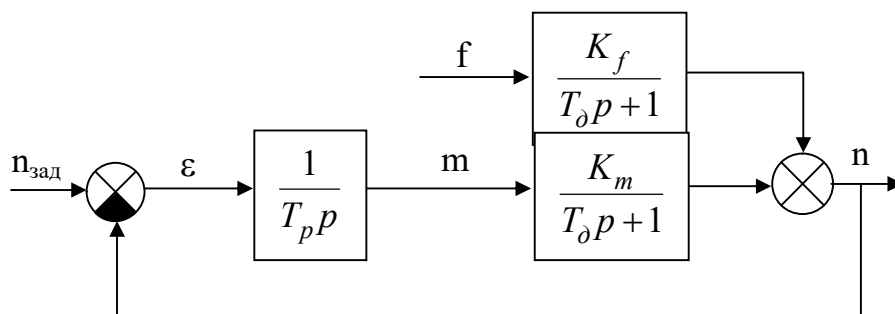
Виконаємо розрахунок параметрів розглянутої САР, але з інтегруючим законом регулювання. Динаміка ОУ описується інерційною позиційною ланкою:

$$T_d \dot{\bar{n}} + \bar{n} = K_m \cdot \bar{m} + K_f \cdot \bar{f}.$$

Виберемо інтегруючий закон регулювання:

$$T_p \dot{\bar{m}} = \bar{\varepsilon}, \text{ де } \bar{\varepsilon} = \bar{n}_{\text{зад}} - \bar{n}$$

Функціональна схема САР буде мати вид:в



СТАТИЧНА ТОЧНІСТЬ САР З І-ЗАКОНОМ РЕГУЛЮВАННЯ

Досліджуємо статичну точність САР з І-законом регулювання при дії східчастого сигналу $\bar{f}(t) = a$. Відповідно до теореми про граничне співвідношення:

$$\bar{\varepsilon}_f(\infty) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \varepsilon_f(p); \text{ де } \varepsilon_f(p) = W_{\varepsilon/f}(p) \cdot f.$$

Щоб визначити статичну помилку необхідно знати передатну функцію $W_{\varepsilon/f}(p)$, що легко визначити за функціональною схемою САУ.

$$W_{\varepsilon/f}(p) = \frac{-\frac{K_f}{T_d p + 1}}{1 + \frac{1}{T_p p} \cdot \frac{K_m}{T_d p + 1}} = \frac{-K_f \cdot T_p p}{T_p T_d p^2 + T_p p + K_m}$$

У чисельнику передатної функції $W_{\varepsilon/f}(p)$ мається загальний множник p в першому ступені, отже порядок астатизму перший. Дійсно при дії східчастого сигналу збурювання $f = \frac{a}{p}$ помилка дорівнює нулю.

$$\bar{\varepsilon}_f(\infty) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot W_{\varepsilon/f}(p) \cdot f = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \frac{-K_f T_p p}{T_p T_d p^2 + T_p p + K_m} \cdot \frac{a}{p} = 0$$

Визначимо статичну помилку при дії східчастого сигналу швидкості:

$$f = \frac{a}{p^2}$$

$$\bar{\varepsilon}_f(\infty) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot W_{\varepsilon/f}(p) \cdot f = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \frac{-K_f T_p p}{T_p T_d p^2 + T_p p + K_m} \cdot \frac{a}{p^2} = -\frac{K_f T_p a}{K_m}$$

Зауваження. Легко показати, що якщо в системі послідовно включити дві інтегруючих ланки (закон регулювання I^2), то в чисельнику передатної функції з'явиться загальний множник p^2 і система буде астатичною 2-го порядку.

Висновок. Порядок астатизму визначається числом послідовно включених інтегруючих ланок.

ДИНАМІЧНА ТОЧНІСТЬ САРЗІ – ЗАКОН ОМ РЕГУЛЮВАННЯ

Дослідимо динамічні властивості АС з інтегруючим законом регулювання при східчастому сигналі

перенастроювання. З цією метою визначимо передатну функцію $W_{n/n_{\text{зад}}} (p)$.

$$W_{n/n_{\text{зад}}} (p) = \frac{\frac{1}{T_p p} \cdot \frac{K_m}{T_d p + 1}}{1 + \frac{1}{T_p p} \cdot \frac{K_m}{T_d p + 1}} = \frac{K_m}{T_p T_d p^2 + T_p p + K_m}$$

Приведемо отримане вираження до стандартного виду, розділивши чисельник і знаменник на K_m , одержимо:

$$W_{n/n_{\text{зад}}} (p) = \frac{1}{\frac{T_p T_d}{K_m} p^2 + \frac{T_p}{K_m} p + 1} = \frac{1}{T_{\text{cap}}^2 p^2 + 2 d T_{\text{cap}} p + 1}$$

Видно, що розглянута АС описується ланкою 2-го порядку, властивості якого відомі. Мінімальний час перехідного процесу t відповідає декременту загасання $d=0,7$, при цьому перехідний процес виходить плавним з перерегулюванням не більш 5%.

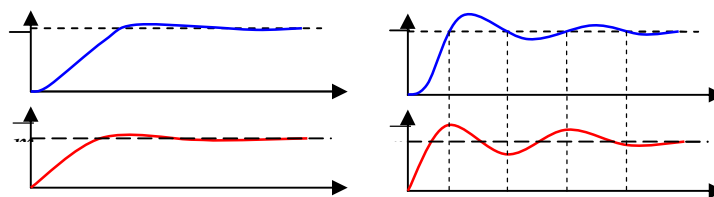
$$t_{R \min} = 3 T_{\text{cap}} ; \quad T_{\text{cap}}^2 = \frac{T_p T_d}{K_m} ; \quad 2 d T_{\text{cap}} = \frac{T_p}{K_m}$$

Вирішивши отриману систему рівнянь відносно $t_{R \min}$ і T_p , одержимо:

$$\frac{T_{\text{cap}}}{2d} = T_d, \quad \Rightarrow t_{R \min} = 4,2 T_d, \quad \Rightarrow T_{p, \text{опт}} = 1.96 T_d \cdot K_m.$$

Висновок: мінімальний час регулювання визначається інерційністю об'єкта і не залежить від властивостей регулятора. Для одержання найкращої якості регулювання параметри регулятора повинні відповідати властивостям об'єкта.

Низькі динамічні властивості І-регулятора порозуміваються відсутністю надлишкового регулюючого впливу на початковому етапі регулювання і попереднього зменшення регулюючого впливу на кінцевому етапі.



Підвищення швидкості регулятора приводить до погіршення якості регулювання.

ВИСНОВОК: на лекції були розглянуті поняття синтезу АС с регуляторами, які працюють за П, І – законами управління. Показані переваги та недоліки цих автоматичних систем.

ЗАВДАННЯ НА САМОПІДГОТОВКУ1.

1. Теорія автоматичного управління. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Н.І. Бурау, Д.О. Півторак; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – С 30-35.

https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42076/1/TAU_praktykum.pdf