

**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

**АВТОМАТИКА РАННЬОГО ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЙ**

Лекція 8

Методи синтезу автоматичних систем раннього виявлення надзвичай-
них ситуацій

Лекцію розробив:
Доцент кафедри АСБтаІТ



Вячеслав ДУРСЄВ

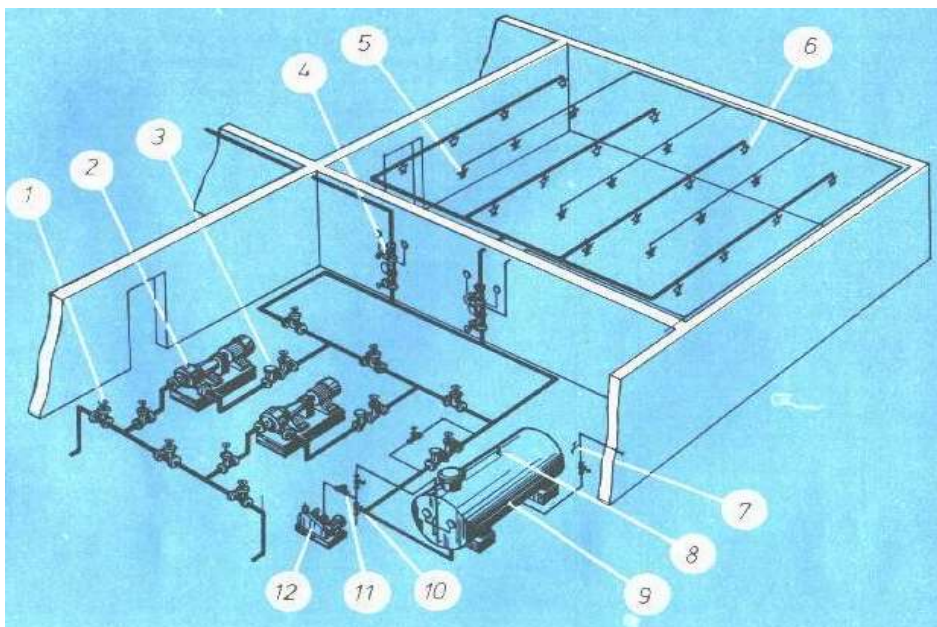
ХАРКІВ 2024

План лекції

1. Синтез автоматичних систем
2. Синтез АС з П - законом регулювання
 - 2.1 Статична точність САР з П - законом регулювання
 - 2.2 Динамічна точність САР з П - законом регулювання
3. Синтез АС з І - законом регулювання
 - 3.1 Статична точність САР з І - законом регулювання
 - 3.2 Динамічна точність САР з І - законом регулювання
4. Висновки, урахування впливу воєнного стану.

Вступ

В сьомій лекції, на прикладі АУВПП, було показано як математично оцінити роботу АУВПП. Сьогодні розглянемо, як математично урахувати потрібні особливості роботи АУВПП.



1. СИНТЕЗ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ

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:

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

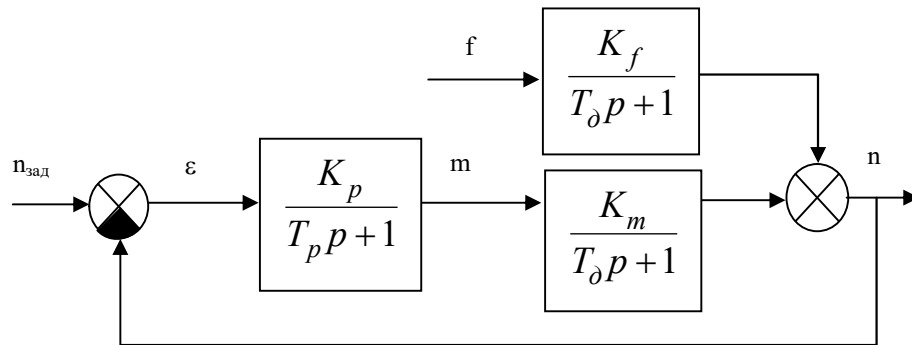
Чи в стандартному виді:

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

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:

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

Функціональна схема САР буде мати вид:



2.1 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.

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

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

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

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

ВИСНОВКИ:

1. При дії східчастого сигналу $\bar{f}$ 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 $\bar{f}$ необхідно збільшувати коефіцієнт підсилення регулятора K_p .

2.2 ДИНАМІЧНА ТОЧНІСТЬ САРЗП - ЗАКОНОМ РЕГУЛЮВАННЯ

Досліджуємо динамічні властивості АС із пропорційним законом регулювання при східчастому сигналі перенастроювання. З цією метою визначимо

передатну функцію $W_{n/n_{\text{зад}}} (p)$.

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

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

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

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%.

$$t_{R \min} = 3 T_{\text{сар}}$$

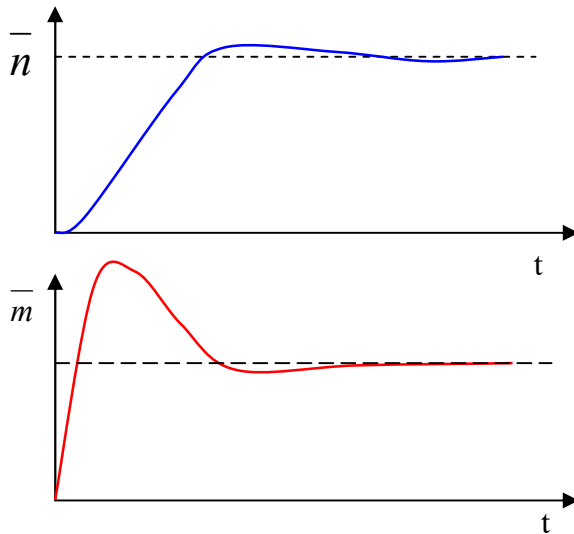
$$T_{\text{сар}}^2 = \frac{T_p T_d}{1 + K_p K_m}; (1) \quad 2 d T_{\text{сар}} = \frac{T_p + T_d}{1 + K_p K_m}. (2)$$

Розділимо рівняння 1 на рівняння 2, одержимо:

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

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 по-
чатковому етапі регулювання.

3. СИНТЕЗ АС З І - ЗАКОНОМ РЕГУЛЮВАННЯ

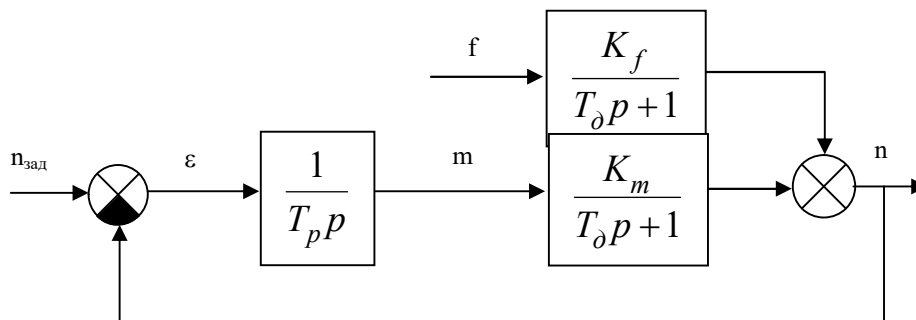
Виконаємо розрахунок параметрів розглянутої САР, але з інтегруючим законом регулювання. Динаміка ОУ описується інерційною позиційною ланкою:

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

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



3.1 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.

3.2 ДИНАМІЧНА ТОЧНІСТЬ САР З І – ЗАКОНОМ РЕГУЛЮВАННЯ

Дослідимо динамічні властивості АС з інтегруючим законом регулювання при східчастому сигналі перенастроювання. З цією метою визначимо переда-
тну 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:

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

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%.

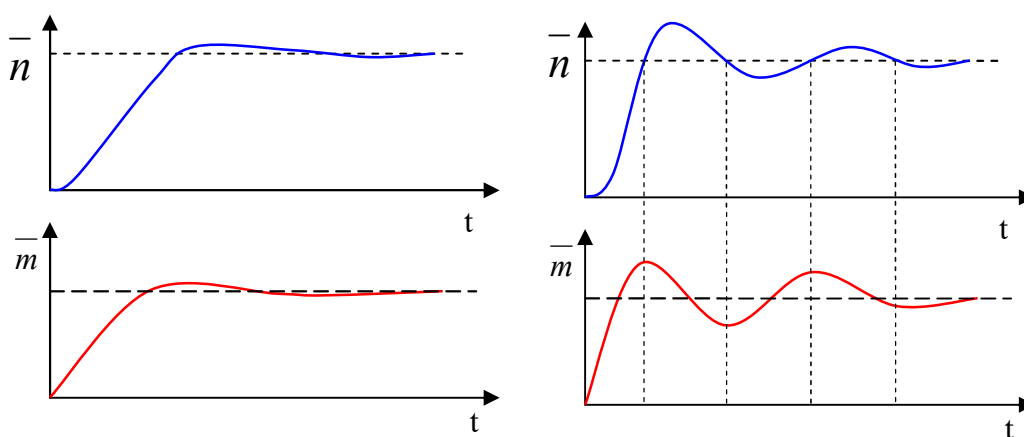
$$t_{R \min} = 3 T_{\text{сар}} ; \quad T_{\text{сар}}^2 = \frac{T_p T_d}{K_m} ; \quad 2 d T_{\text{сар}} = \frac{T_p}{K_m}$$

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

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

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 швидкодії 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

4. Висновки, урахування впливу воєнного стану.

Застосування методів синтезу АС для забезпечення вимог швидкості та точності роботи автоматики танкового двигуна.

Для підвищення рухливості бронетехніки, розробники озброєння іноді застосовують двигуни таких систем, що здатні видавати максимальну потужність. Прикладом може бути застосування газотурбінного танкового двигуна для українського основного бойового танку Т-84 і танк «Оплот».



Проте недоліки, характерні такому двигуну пов'язані з підвищеною витратою палива та проблемами приємності при роботі в складних умовах і не завжди дозволяють реалізувати таке обладнання на практиці.

З наведеного матеріалу лекції видно, що при синтезі автоматичної системи з вимогами по стійкості та точності роботи, додаткове обладнання дозволяє знизити час перехідних процесів при зміні рівня вхідного сигналу та забезпечити запас по стійкості та астатизму роботи автоматичної системи.

Так застосування статичної приставки в регуляторі роботи газотурбінного двигуна дозволяє додатково покращити швидкодію та знизити час виходу двигуна на робочий режим при дії сигналу перенастройки, що відповідає збільшенню чи зменшенню швидкості руху броньованої машини.

В свою чергу, застосування приладів, що реалізують ізодромний зворотній зв'язок, формує ПІ-закон регулювання частоти обертів ротору газотурбінного двигуна. Це покращують точність роботи автоматики двигуна танка при сигналах перенастройки та впливі зовнішнього збурення в якості фактора, що впливає на помилку.

Таким чином підхід до синтезу АС з використанням методів стандартних коефіцієнтів дозволяє досліджувати не тільки обладнання виявлення надзвичайних ситуацій, но і аналізувати роботу приладів озброєння для відбиття збройної агресії РФ проти України.