

## Тема 2. Регулятори

1. Визначення і класифікація регуляторів
2. Пропорційні регулятори
3. Пропорційно-інтегральні регулятори
4. Пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори
5. Позиційні регулятори
6. Імпульсні регулятори

### 1. Визначення і класифікація регуляторів

Регулятор - це засіб автоматизації, який отримує, підсилює та перетворює сигнал відхилення регульованої величини і цілеспрямовано діє на об'єкт керування, забезпечуючи підтримання заданого значення регульованої величини або зміну її значення за заданим законом.

Автоматичний регулятор - це сукупність пристроїв, приєднаних до об'єкта керування для регулювання його вихідної величини. До виходу об'єкта приєднується вимірювальний пристрій, який контролює вихідну величину, а до регулюючого органу - виконавчий елемент. При відхиленні регульованого параметра об'єкта від заданого значення відповідно до закладеного закону регулювання регулятор формує керуючу дію на регулюючий орган, щоб зменшити це відхилення.

Регулятори класифікують за видом регульованого параметра, за видом регульованого впливу, за родом енергії, за конструктивним виконанням та законом регулювання.

*За видом регульованого параметра* регулятори поділяють на регулятори температури, тиску, рівня, частоти обертання, напруги тощо.

*За видом регульованого впливу* регулятори бувають прямої дії, у яких енергія для переміщення регулюючого органу виникає внаслідок вимірювання регульованого параметру, та регулятори непрямої дії, які отримують енергію від стороннього джерела.

*За родом енергії* регулятори поділяють на електричні, гідравлічні, пневматичні та комбіновані.

*За конструктивним виконанням* регулятори бувають апаратні, приладні, агрегатні та модульні. Регулятор апаратного типу - це пристрій, який працює у комплекті з первинним вимірювальним перетворювачем. Регулятори приладного типу отримують сигнал від вторинного перетворювача, на який поступає сигнал від первинного вимірювального перетворювача. Регулятори агрегатного типу

побудовані із окремих блоків: вимірювального, підсилювального, задавального тощо. Автоматичні регулятори модульного типу складаються із окремих елементів, які виконують найпростіші операції.

За законом регулювання, який реалізує регулятор, їх поділяють на пропорційні, пропорційно-інтегральні, пропорційно-інтегрально-диференціальні, позиційні, імпульсні.

**2. Пропорційні регулятори** (П-регулятори) діють на регулюючий орган пропорційно відхиленню регульованої величини від заданого значення:

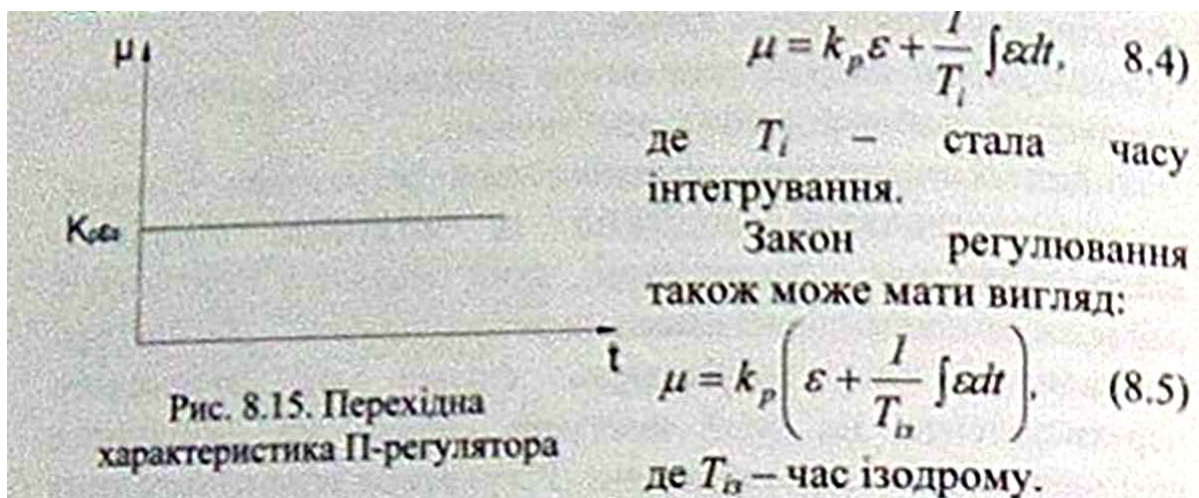
$$\mu = k_p \varepsilon, \quad (8.3)$$

Де  $\mu$  - вплив регулятора на регулюючий орган, направлений на ліквідацію відхилення регульованої величини від заданого значення;  $k_p$  - коефіцієнт передачі регулятора, який є параметром його налагодження;  $\varepsilon$  - вхідний сигнал на регулятор, який дорівнює відхиленню регульованої величини від заданого значення.

Пропорційний регулятор за динамічними властивостями є підсилюючою ланкою. Перехідна характеристика П- регулятора показана на рис.8.15.

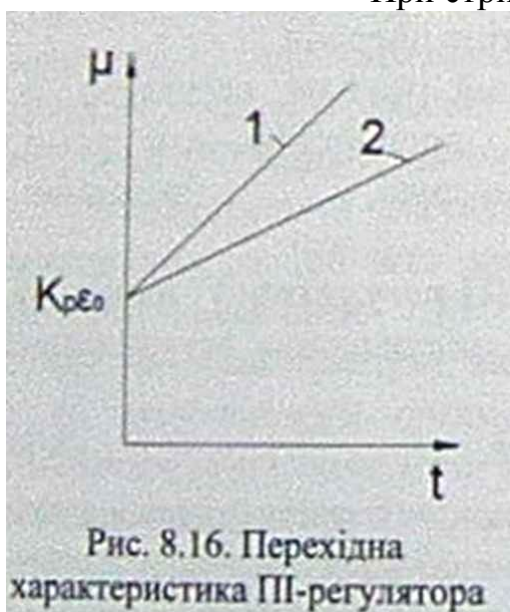
### 3. Пропорційно-інтегральні регулятори

(ПІ - регулятори) діють на регулюючий орган пропорційно відхиленню та інтегралу від відхилення регульованої величини.



Перехідна характеристика ПІ-регулятора, реалізована за законом (8.4), показана на рис. 8.15 (пряма 1), за законом (8.5) - на рис. 8.16 (пряма 2).

При стрибкоподібній зміні



вхідної величини на величину  $\varepsilon_0$  ПІД-регулятор спочатку миттєво переміщує регулюючий орган на величину  $k_p \varepsilon_0$  пропорційну відхиленню регульованої величини, після чого виконавчий механізм регулятора додатково переміщується у тому ж самому напрямі зі швидкістю  $\varepsilon_0/T_i$  пропорційній відхиленню регульованої величини.

Параметрами налагодження ПІД-регулятора є коефіцієнт передачі регулятора  $k_p$  та час ізодрому  $T_D$ . Час ізодрому - це час, протягом якого від впливу інтегральної (астатичної) частини регулятора подвоюється пропорційна (статична) складова закону регулювання.

### 4. Пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори (ПІД-регулятори)

діють на регулюючий орган пропорційно відхиленню регульованої величини, інтегралу від цього відхилення та швидкості зміни регульованої величини:

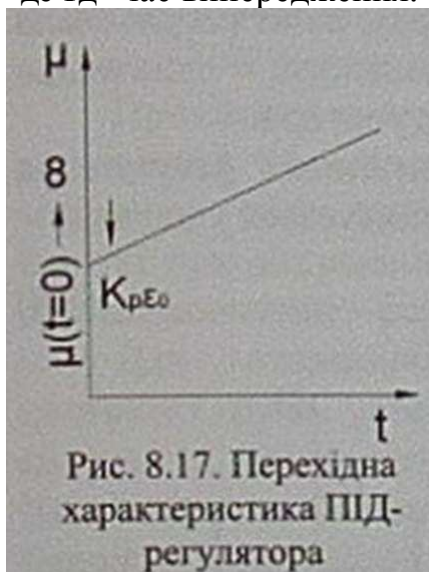
$$\mu = k_p \varepsilon + \frac{1}{T_i} \int \varepsilon dt + T_d \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (8.6)$$

де  $T_d$  – стала часу диференціювання.

Закон регулювання також може мати вигляд:

$$\mu = k_p \left( \varepsilon + \frac{1}{T_{iz}} \int \varepsilon dt + T_{en} \frac{d\varepsilon}{dt} \right) \quad (8.7)$$

де  $T_d$  - час випередження.



Перехідна характеристика ПІД-регулятора показана на рис. 8.17. При стрибкоподібній зміні регульованої величини ПІД-регулятор у початковий момент часу здійснює миттєву нескінченно велику дію на регулюючий орган; потім величина цієї дії падає до значення, яке визначається пропорційною частиною регулятора, після чого починає діяти астатична частина регулятора.

Параметрами налагодження ПІД-регулятора є коефіцієнт передачі регулятора  $k_p$ , час ізодрому  $T_{iz}$  та час випередження  $T_{en}$ . Цей регулятор є найбільш універсальним, оскільки за його допомогою можна здійснити різноманітні закони регулювання: при  $T_{en}=0$  та нескінченно великому  $T_{iz}$  отримуємо П-регулятор, а при  $T_{iz}=0$  - ІІ-регулятор.

У промислових регуляторах І-, ІІ- та ПІД-закони регулювання реалізуються шляхом охоплення підсилювача з виконавчим механізмом від'ємним зворотним зв'язком (рис.8.18), причому необхідний закон регулювання формується за рахунок динамічних властивостей каналу зворотного зв'язку.

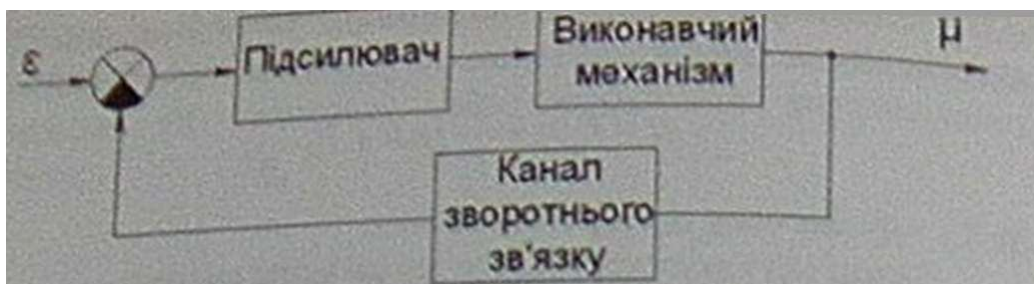


Рис. 8.18. Структурна схема промислових пропорційних регуляторів\*

## 5. Позиційні регулятори

Позиційними називають регулятори, у яких регулюючий орган переміщується стрибкоподібно із одного крайнього положення в інше кожний раз, коли регульована величина досягне певного заданого значення. Найпоширеніші дво- та трипозиційні регулятори.

Статична характеристика двопозиційного регулятора показана на

$$\begin{aligned} \mu &= \mu_1 \text{ при } \varepsilon > 0; \\ \mu &= -\mu_2 \text{ при } \varepsilon < 0. \end{aligned} \quad (8.8)$$

Рис. 8.19. Статичні характеристики двопозиційного регулятора без зони неоднозначності (а) та із зоною неоднозначності (б)

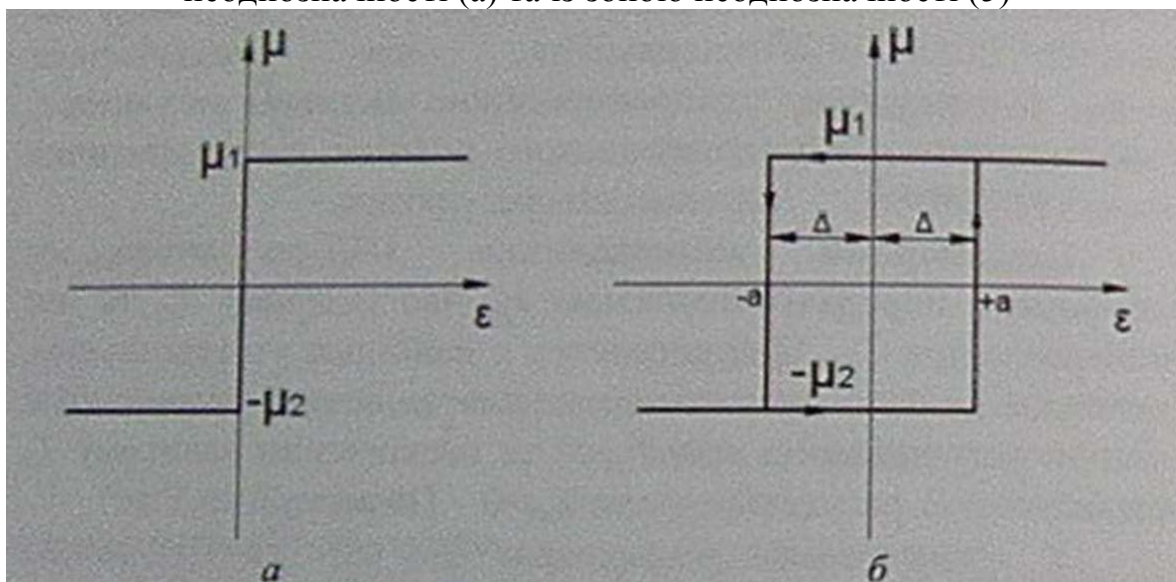


рис.8.19. Аналітично вона описується у вигляді



Реальний регулятор має зону нечутливості  $2\Delta$  (рис. 8.19,6), яка характеризує величину порогів спрацювання регулятора від заданого значення регульованої величини. Зона нечутливості є параметром налагодження і називається диференціалом. Як тільки відхилення регульованої величини перевищить  $+\Delta$ , на регулюючий орган подається сигнал керування. Він буде зберігатися до того часу, доки відхилення регульованої величини не стане рівним  $-\Delta$ .

Двопозиційні регулятори застосовуються для керування об'єктами з малими запізненнями і великими сталими часу, наприклад, для регулювання рівня води у баштах. Регулятор підтримує середнє значення регульованої величини, хоча сама величина змінюється, здійснюючи незатухаючі коливання. Амплітуда та період коливань залежать від зони нечутливості регулятора.

Прикладом найпростішого двохпозиційного регулятора є контактний термометр, який має два або три контакти, запаяні у скло капіляра. Чутливий елемент термометра (ртуть) при нагріванні розширюється і замикає контакти, а при охолодженні - розмикає їх.

Для позиційного регулювання використовуються контактні групи, увімкнені у первинні або вторинні прилади, наприклад, манометри для вимірювання і регулювання тиску. Випускаються електронні двопозиційні регулятори, які виконані у вигляді окремого приладу.

Статичні характеристики трипозиційного регулятора без зон неоднозначності та із зонами неоднозначності відповідно показані на рис. 8.20, а та рис. 820, б. Аналітично статична характеристика трипозиційного регулятора без зон неоднозначності описується у вигляді:

$$\begin{cases} \mu = 0 \text{ при } |\varepsilon| < \Delta; \\ \mu = \mu_1 \text{ при } \varepsilon \geq \Delta; \\ \mu = -\mu_2 \text{ при } \varepsilon \leq -\Delta. \end{cases} \quad (8.9)$$

Як тільки відхилення регульованої величини  $\varepsilon$  перевищить значення  $+\Delta$ , то подається сигнал керування на регулюючий орган. Сигнал керування зберігається доти, поки відхилення регульованої величини не зменшиться до значення  $+\Delta$ , після чого сигнал керування зникає. Сигнал

керування  $\mu_2$  з'явиться тоді, коли відхилення регульованої величини досягне значення  $-\Delta$ . Після цього процес регулювання повторюється.

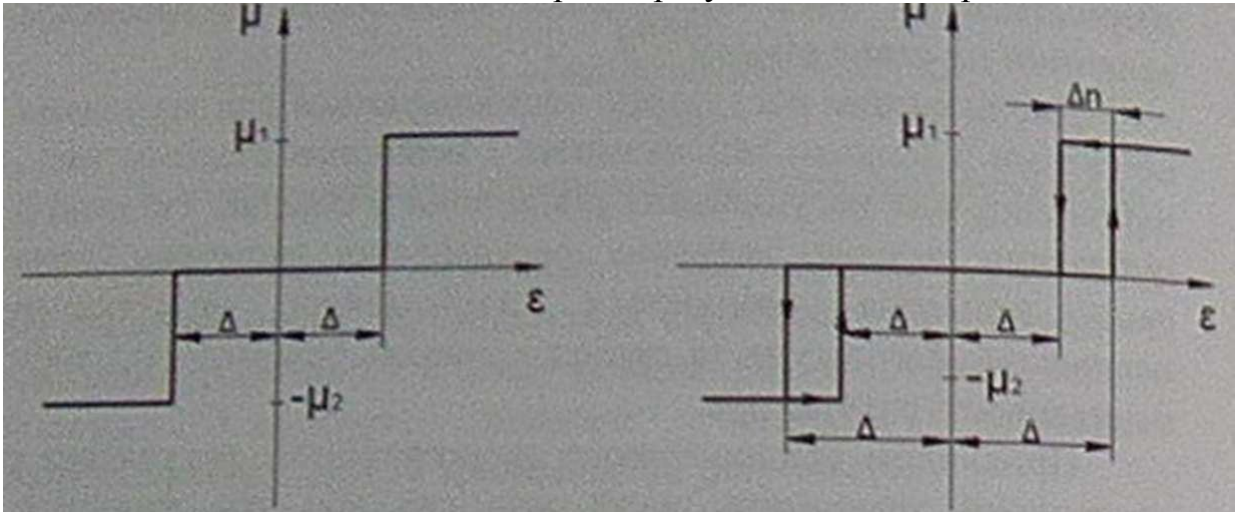


Рис. 8.20. Статичні характеристики трипозиційного регулятора без зони неоднозначності (а) та із зоною неоднозначності (б)

Трипозиційні регулятори мають стійкий стан ( $\mu=0$ ) у границях рівноважного стану системи ( $\varepsilon=0$ ), яка визначається зоною нечутливості і зоною неоднозначності статичної характеристики. Якщо при черговому перемиканні регулятора у стан  $\mu=0$  відхилення регульованої величини  $\varepsilon$  не буде виходити за зону нечутливості регулятора, то у даному стані система може знаходитися нескінченно довго і в ній не буде автоколивань. У цьому полягає відмінність трипозиційного регулятора від двопозиційного.

## 6. Імпульсні регулятори

Імпульсними називають регулятори, у яких при неперервній зміні вхідної величини виробляються керуючі сигнали на регулюючий орган у вигляді імпульсів тривалістю  $t_u$  через рівні інтервали часу (рис.8.21). Амплітуда цих імпульсів може бути пропорційна відхиленню або незмінною. Імпульсні регулятори при відхиленні регульованого параметра переміщують регулюючий орган із перервами у часі.

Імпульсні регулятори в автоматичних системах регулювання найчастіше застосовуються з виконавчими механізмами з постійною частотою обертання вихідного вала, які здійснюють переміщення регулюючого органу з постійною швидкістю. Для керування такими виконавчими механізмами застосовують електромагнітні пускачі або реле.

Виконавчий механізм постійної швидкості може знаходитися у трьох положеннях: переміщення регулюючого органу з постійною швидкістю, у нерухомому стані; переміщення регулюючого органу у зворотну сторону.

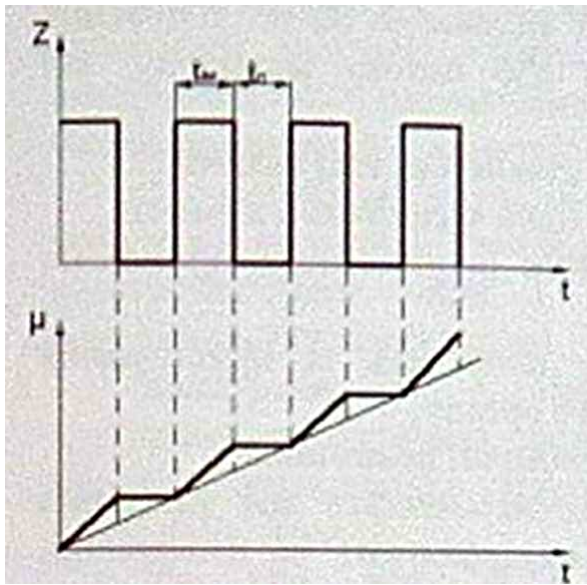


Рис. 8.21. Переміщення виконавчого механізму постійної швидкості при імпульсному регулюванні

Коли відхилення регульованої величини перевищує значення  $\Delta$  спрацьовує пускач, який подає на виконавчий механізм імпульс напруги тривалістю  $t_{им}$ . При цьому виконавчий механізм буде переміщувати регулюючий орган з постійною швидкістю. Під час пауз  $t_п$  пускач вимикається, і виконавчий механізм перебуває у нерухомому стані.

На виконавчий механізм буде поступати серія імпульсів доти, поки відхилення регульованої величини не буде перевищувати значення  $\Delta - \Delta_п$ , де  $\Delta_п$  - зона повернення релейного елемента. При цьому характер переміщення

регулюючого органу буде мати вигляд, показаний на рис. 8.21.

Якщо в імпульсний регулятор увести від'ємні зворотні зв'язки з відповідними динамічними властивостями, можна отримати імпульсні П-, ПІ- або ПІД-регулятори. Більшість сучасних регуляторів побудовані за такою схемою, оскільки такий регулятор може реалізовувати позиційний, імпульсний або неперервний закон регулювання.