

Типові ланки систем автоматичного керування. Класифікація

Виділяють усього декілька типових (елементарних) ланок, за допомогою яких можна буде побудувати будь-які складніші ланки, що зустрічаються на практиці в системах автоматичного регулювання.
Або навпаки — складні алгоритмічні схеми систем керування можуть бути розбиті на прості типові ланки не вище другого порядку.

Назва	Перехідна функція	Рівняння роботи
Пропорційна ланка	$W(s) = K$	$y(t) = K \cdot x(t)$
Інтегрувальна ланка	$W(s) = \frac{1}{T_n s}$	$y(t) = \frac{1}{T_n} \int_0^t x(\tau) d\tau$
Диференціювальна ланка	$W(s) = K s$	$y(t) = K \cdot \frac{dx(t)}{dt}$
Реальна диференціювальна ланка	$W(s) = \frac{K s}{1 + T s}$	$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K \cdot \frac{dx(t)}{dt}$
Форсуюча ланка	$W(s) = K \cdot (T s + 1)$	$y(t) = K \cdot \left(x(t) + T \frac{dx(t)}{dt} \right)$
Ланка чистого запізнення	$W(s) = e^{-\tau s}$	$y(t) = x(t - \tau), \tau > 0$
Інерційно-форсуюча ланка		
Аперіодична ланка першого порядку	$W(s) = \frac{K}{T s + 1}$	$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K \cdot x(t)$
Аперіодична ланка другого порядку	$W(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)}$	$T_1 T_2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K x(t)$
Коливальна ланка	$W(s) = \frac{K}{T_k^2 s^2 + T_d s + 1}, \frac{T_d}{T_k} < 2$	$T_k^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_d \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K x(t)$
Консервативна ланка	$W(s) = \frac{K}{T^2 s^2 + 1}$	$T^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + y(t) = K x(t)$
Пропорційно-інтегрально-диференціювальна ланка		

З'єднання ланок

Варіанти з'єднання ланок.

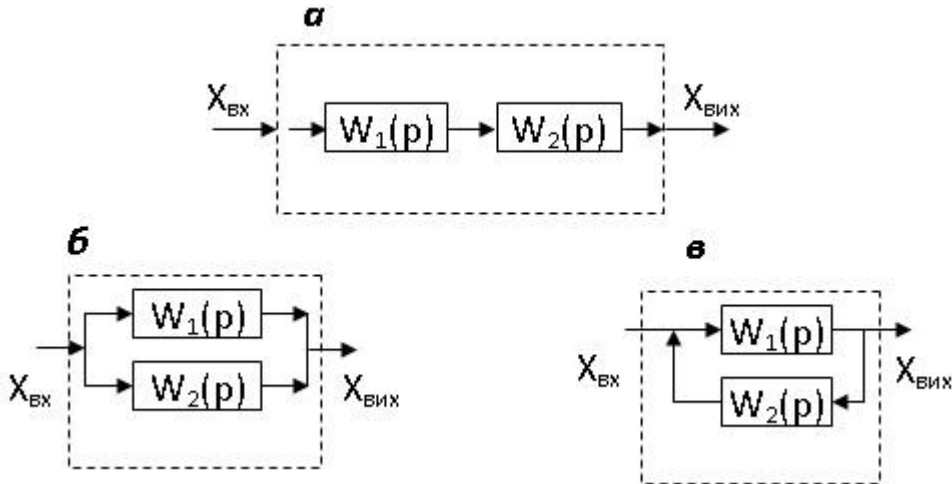
У системах автоматичного регулювання ланки можуть з'єднуватися у найрізноманітніших поєднаннях. Існує три основних види з'єднань ланок, комбінуючи які, можна прийти до будь-якої складної системи. Це: послідовне, паралельне і зустрічно-паралельне (обхват ланки зворотним зв'язком) з'єднання.

Структурні схеми різних з'єднань ланок показано на рис.

Неважко бачити, що при послідовному з'єднанні ланок (рис. а) передавальна функція загальної (підсумкової) ланки дорівнює добутку передавальних функцій елементарних ланок, а при паралельному з'єднанні (рис. б) — сумі передавальних функцій.

Зустрічно-паралельне включення (рис. в) часто називають з'єднанням з обхватом ланки зворотним зв'язком.

Для забезпечення стійкості елементів автоматики і систем загалом найчастіше застосовують від'ємні зворотні зв'язки.



Пропорційна ланка — поняття, що відноситься до Теорії автоматичного керування. Елемент системи автоматичного регулювання. Пропорційні ланки САР — це найпростіші ланки. Прикладами може бути подільник напруги, важіль, механічний редуктор, підсилювальний каскад тощо. Для цих ланок справедлива пропорційна залежність між вхідною і вихідною величинами: $y=kx$, де x — вхідна величина, y — вихідна величина, k — коефіцієнт підсилення. Передавальна функція чисельно дорівнює коефіцієнту підсилення: $W(p)=k$.

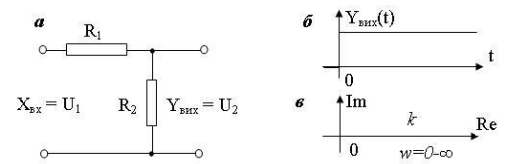


Рис. Приклад пропорційної ланки – подільник напруги (а), перехідна функція (б) і АФХ (в).

Аперіодична ланка першого порядку

Аперіодичною ланкою першого порядку називається ланка, що має одну енергетичну ємність, в якій при подачі на вхід ступінчастого впливу вихідна величина приходить до нового усталеного значення за експоненціальним законом.

Аперіодична ланка першого порядку — одноємнісна, інерційна ланка, яка може бути описана диференціальним рівнянням: $T \frac{dx_2}{dt} + x_2 = kx_1$,

де x_1 — вхідна величина, x_2 — вихідна величина, k — коефіцієнт підсилення, T — постійна часу. Це рівняння аперіодичної ланки динамічної системи управління 1-го порядку. Передавальна функція аперіодичної ланки першого порядку: $W(p) = k / (Tp + 1)$. Прикладами аперіодичної ланки є тепловий об'єкт, де входом служить, наприклад, витрата палива, а вихідною величиною температура. Інший приклад — технологічна посудина (ємність) з вільним витіканням рідини, тут вхідний сигнал — витрата рідини, що надходить у посудину, а вихідний — її рівень у посудині.

У системах автоматичного керування як аперіодичні ланки можуть виступати двигуни постійного струму, електричний опір і індуктивності і т. д.

Перехідна функція аперіодичної ланки досягає свого сталого значення не відразу, як в підсилювальній ланці, а поступово згідно з експоненціальним (аперіодичним) законом, через що ланка і отримала свою назву. Мірою інерційності ланки є постійна часу T . Чим менше T , тим аперіодична ланка ближча за своїми динамічними властивостями до пропорційної. Наприклад, стала часу електронних підсилювачів систем регулювання дорівнює 10-4 — 10-6 сек., тому ці підсилювачі розглядають як пропорційні ланки.

З аналізу амплітудно-частотної характеристики $A(w)$ випливає, що аперіодична ланка має властивість фільтра — добре пропускає сигнали малих частот і погано — великих, із збільшенням частоти зменшується амплітуда вихідного сигналу. Аналіз фазової характеристики $\varphi(\omega)$ показує, що вихідні коливання відстають від вхідних. Це відставання змінюється в межах від 0 до 90°. На частоті зламу $\omega_{зл} = 1/T$ $\varphi(\omega) = -45^\circ$.

Загалом вважається, що майже будь-який об'єкт управління в першому наближенні, дуже грубо, можна описати аперіодичною ланкою 1-го порядку.

Аперіодична ланка другого порядку

Рівняння аперіодичної ланки 2-го порядку має вигляд

$T_2^2 (d^2 x_2 / dt^2) + T_1 (dx_2 / dt) + x_2 = kx_1$, Дві послідовно з'єднаних аперіодичних ланки 1-го порядку, можуть бути представлені як аперіодична ланка 2-го порядку із загальним коефіцієнтом підсилення. Передавальна функція аперіодичної ланки 2-го порядку: $W(p) = k / (T^2 p^2 + Tp + 1)$.

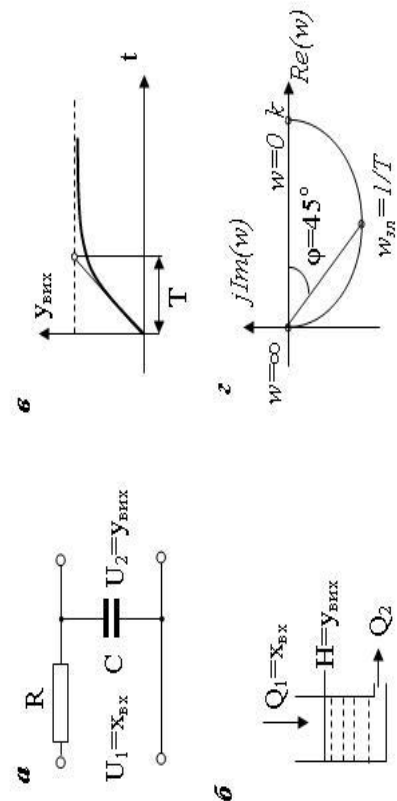


Рис. Приклади аперіодичної ланки (а, б), перехідна функція (в) і АФХ (г).

Коливальна ланка - поняття, що відноситься до Теорії автоматичного керування. Елемент системи автоматичного регулювання.

Коливальна ланка - ланка другого порядку – ланка, що має дві енергетичні ємності і в якій при подачі на вхід ступінчастого сигналу вихідна величина приходить до нового усталеного значення по експоненті другого порядку (аперіодична ланка другого порядку) або із згасаючим коливанням (коливальна ланка).

Рівняння коливальної ланки має вигляд:

$$T_2^2(d^2x_2/dt^2) + T_1(dx_2/dt) + x_2 = kx_1,$$

Де x_1 — вхідна величина, x_2 — вихідна величина, і T_1 і T_2 – сталі часу; k – коефіцієнт передачі.

Передавальна функція коливальної ланки:

$$W(p) = k / T_2 p^2 + T_1 p + 1$$

На рис. наведено приклади фізичної реалізації коливальної ланки: а – коливальний контур з R , L , C параметрами і механічна система, що включає пружину і гідравлічний демпфер (б).

Амплітудно-фазова частотна характеристика коливальної ланки (рис. г) відрізняється тим, що її годограф захоплює від'ємну область дійсної осі координатного простору.

Коливальна ланка характеризується коефіцієнтом загасання ξ . При $\xi < 1$ ланка належить до коливального виду, при $\xi = 1$ ланка стає аперіодичною другого порядку, яку можна представити у вигляді двох типових ланок – аперіодичних першого порядку, з'єднаних послідовно.

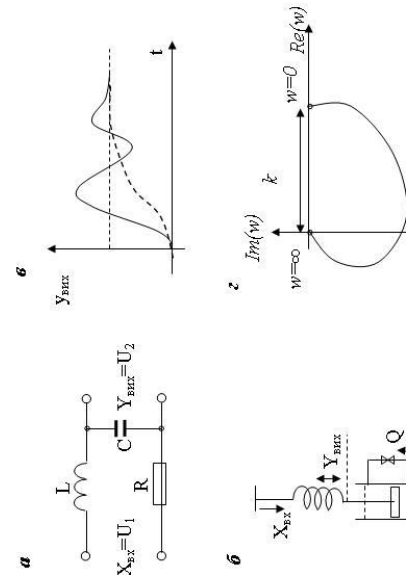


Рис. Приклади коливальної ланки (а і б), передавальна функція (в) та АФХ (г).

Інтегрувальна ланка — поняття, що відноситься до Теорії автоматичного керування. Елемент системи автоматичного регулювання.

Інтегрувальна ланка — ланка в якій вихідна величина пропорційна інтегралу за часом від вхідної, або швидкість зміни вихідної величини пропорційна вхідній величині. Інша назва — астатична ланка.

Рівняння ланки в інтегральній формі має вигляд:

$$y = \int_0^t x(t) dx$$

Або в диференціальній:

$$\frac{dy}{dt} = kx$$

де y — вихідна величина, x — вхідна.

Передавальна функція інтегральної ланки :

$$W(p) = \frac{k}{p}$$

Розрізняють ідеальну і реальну інтегрувальні ланки. В першій інерційністю пристроїв нехтують.

При постійному вхідному сигналі вихідний сигнал ідеальної інтегруючої ланки вмить починає змінюватися з постійною швидкістю, що в реальних умовах практично нездійсненно. Тому всі вищенаведені рівняння справедливі для ідеальної інтегруючої ланки. У реальній інтегруючій ланці присутня певна інерційність.

$$T \frac{d^2y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} = kx$$

Для неідеальної ланки рівняння має вигляд:

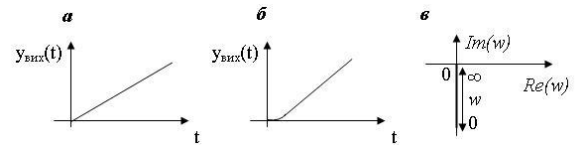


Рис. 1 Перехідна функція ідеальної (а), реальної (б) інтегрувальної ланки та амплітудно-фазова характеристика ідеальної ланки (в).

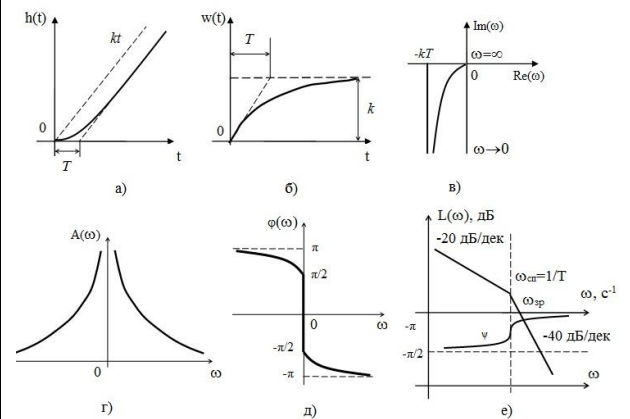


Рис. 2 Перехідна (а), імпульсна перехідна (б) характеристики та амплітудно-фазова (в), амплітудна (г), фазова (д) та логарифмічні амплітудна та фазова (е) частотні характеристики реальної інтегрувальної ланки.

Диференціююча ланка – - поняття, що відноситься до Теорії автоматичного керування. Елемент системи автоматичного регулювання. Диференціююча ланка - ланка, в якій вихідна величина пропорційна швидкості зміни вхідної: $y = k dx/dt$

де y - вихідна величина, x - вхідна. Звідки передавальна функція має вигляд: $W(p) = kp$. Виділяють ланки на ідеальні і реальні. Прикладом диференціюючої ланки може служити електрична ємність (C), якщо вхідним сигналом вибрати прикладену до неї напругу u , а вихідним – протікаючий струм i . Амплітудно-фазова характеристика реальної диференціюючої ланки являє собою напівколо, розташоване в першому квадранті комплексної площини з центром на дійсній осі на відстані $k/2$ від початку координат.

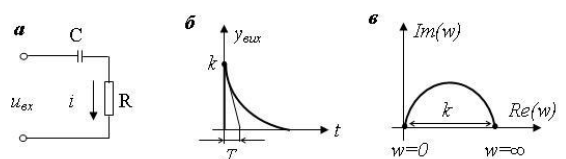


Рис. Схема реальної диференціюючої ланки (а), перехідна (б) і амплітудно-частотна характеристики (в).

Ланка транспортного запізнення — поняття, що відноситься до теорії автоматичного керування. Елемент системи автоматичного регулювання.

Ланка транспортного запізнення — ланка, в якій вихідна величина відтворює вхідну без спотворень, але з деяким постійним запізненням τ .

Ця ланка описується рівнянням:

$$y = x(t - \tau),$$

де τ — час транспортного запізнення.

Вихідна величина ланки запізнення точно копіює його вхідну величину, однак з деяким запізненням за часом τ .

Прикладом ланки, що запізнюється, може служити конвеєр, в якому після зміни вхідної величини, наприклад, подачі матеріалу на початку конвеєра, повинен минути певний проміжок часу τ , перш ніж почнеться зміна вихідної величини — кількість матеріалу в зоні розвантаження конвеєра.

Передавальна функція:

$$W(p) = e^{-p\tau}.$$

Наявність у системі регулювання ланки транспортного запізнення значно знижує якість регулювання, а іноді робить систему регулювання нестійкою.

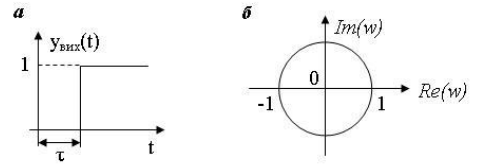


Рис. Перехідна і амплітудно-фазова характеристики ланки транспортного запізнення.