

## Лекція 3

# Тема: Структура засобів вимірювання швидкості

1. Каскадувальні ІДЕ.
2. Фрикційні ІДЕ.
3. Гіроскопічні ІДЕ.
4. Електромашинні ІДЕ.

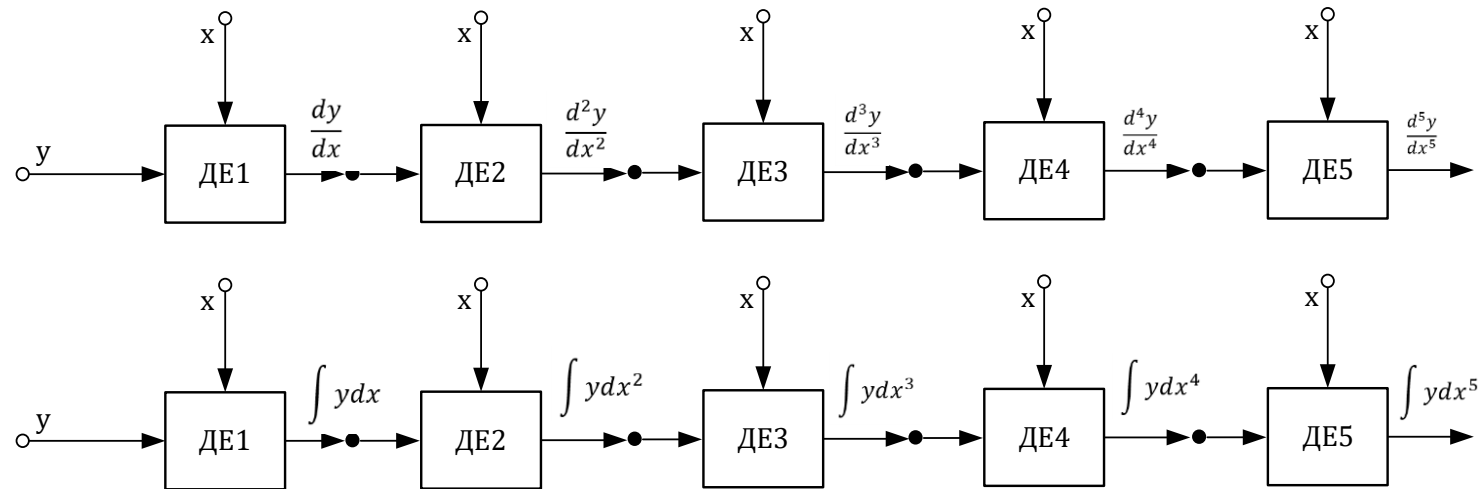


# 1. Каскадувальні ІДЕ

**Каскадним з'єднанням ІДЕ** називається схема, в якій вихід елемента подається на один з входів наступного елемента.

Особливо важливе значення має той окремий випадок, коли результат, знімається з виходу попереднього елемента, подається на той вхід наступного, через який він входить в математичне вирази в якості інтегрованої або диференційованої функції.

За такою схемою виходять похідні і першоподібні функції більш високих порядків.



На рис. 1.1. Диференціююча та інтегруюча каскадні ланцюги на ІДЕ з двома входами: при  $n$  ланках каскадний ланцюг (а) дає  $n$ -ю похідну, а ланцюг (б) -  $n$ -ю первісну

**При  $n$  ланках каскадний ланцюг (а) дає  $n$ -ю похідну, а ланцюг (б) -  $n$ -ю первісну:**

$$z_n = d^n / dx^n$$
$$z_n = (n) \int y dx^n$$

Де знак інтегралу означає  $n$ -кратний інтеграл, а знак  $dx^n$  - що цей інтеграл береться  $n$  раз по  $dx$ .

Шляхом послідовного диференціювання або інтегрування можна отримати всі похідні, включаючи і нульову (тобто саму функцію), починаючи з будь-якої з них. Каскадне з'єднання ІДЕ є основним схемним вузлом в ППР (пристроїв параметрів руху).

## 2. Фрикційні ІДЕ

У ППР застосовуються головним чином різновиди диск з роликом (а) і диск з двома шариками (б).

Якщо ковзання ролика відсутня або мізерно мале, то окружні швидкості диска і ролика (рис. 1.2) в точці їх дотику рівні. Тому  $\omega_\alpha \rho = \omega_\beta r$  або

$$\left(\frac{d\alpha}{dt}\right) \rho = \left(\frac{d\beta}{dt}\right) r, \quad (1.1)$$

де  $\omega_\alpha$  і  $\omega_\beta$  – кутові швидкості диска та ролика,  $\alpha$  і  $\beta$  - кути повороту їх осей;  $\rho$  і  $r$  – зміщення і радіус ролика.

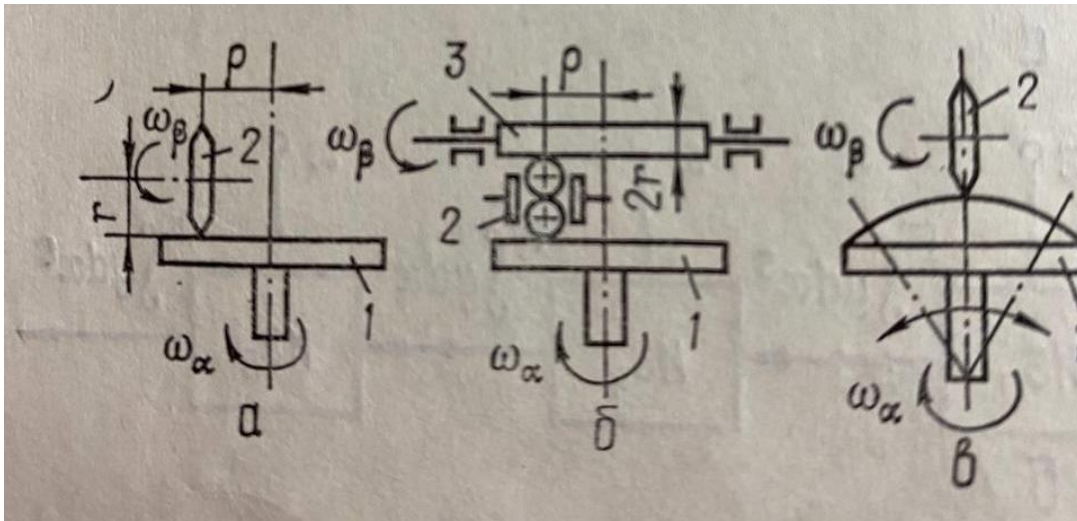


Рис. 1.2

На рис. 1.2 Фрикційні ІДЕ: три різновиди фрикційного і а-диск з роликом, в - грибоподібна з роликом (1 – диск, 2-ролик) і б-диск з двома кульками (1 -диск, 2 - шариковий вузол, 3-приймальний валик).

Із формули (1.1) отримаємо залежність

$$\rho d\alpha = r d\beta, \quad (1.2)$$

яка показує, що фрикційний ІДЕ задовольняє поставлена раніше умовами.

У нього три змінні  $\rho, \alpha$  і  $\beta$ , будь-які **дві** з цих величин можна зробити **вхідними**, а **третю** розглядати як **вихідною**. У ІДЕ три ланцюги. Два вхідні і один вихідний.

Його ланцюги  $\alpha, \rho$  утворюють схему множення і дають добуток двох змінних  $\omega_\alpha \rho$  або  $\rho d\alpha$ . У рівняння цього елемента входять величини  $\omega_\alpha$ , і  $\omega_\beta$ , які є похідними от  $\alpha$  і  $\beta$  за часом  $t$ . Таким чином, за допомогою фрикційного ІДЕ можливо отримати всі шість операцій (табл. 1.1).

Розглянемо три з них. Якщо аргумент  $x$  вводиться через кут  $\alpha$  -кут повороту осі диску, функція  $y = f(x)$  - через кут  $\beta$  -кут повороту осі ролика, то результат  $z$  знімається у вигляді зміщення  $\rho$  ролика. Згідно залежності (1.2),  $\rho = r (d\beta/d\alpha)$ .

Якщо функція представлена лінійним переміщенням  $s = f(t)$  або кутовим  $\alpha = f(t)$ , що змінюються у часу, то похідна зводиться до вимірювання швидкості  $v_s$ , і  $\omega_\alpha$ . Якщо аргумент  $x$  вводиться через кут повороту осі диска  $\alpha$ , функція  $y$  - через зміщення ролика  $\rho$ , а результат  $z$  знімається у вигляді кута повороту осі ролика  $\beta$ , то згідно залежності (1.2)

$$\beta = \frac{1}{r \int \rho d\alpha}.$$

Якщо аргумент  $x$  вводиться через кут  $\beta$ , функція  $y$  - через зміщення  $\rho$ , а результат знімається у вигляді кута  $\alpha$ , то, згідно залежності (1.2),  $\alpha = r \int d\beta/\rho$ .

Можна отримати і інші три операції (табл. 1.1), але для цього потрібно складати більш складні блок-схеми, складові електрокінематичні схеми з додавання реостатних елементів і пильнуючих пристроїв або підсилювачів.

Особливістю розглядаючого фрикційного ІДЕ є неприпустимість навантаження валу ролика моментом, бо інакше виникає ковзання і втрачається точність елемента, тому в схемах з фрикційними ІДЕ застосовують пильнуючі механізми для знімання величини  $\mathbf{z}$ , за винятком випадку, коли навантаження мізерно мале.

Номінальна частота обертання валу диска береться не вище 1000 хв<sup>-1</sup>. При крайньому положенні ролика це дає для нього приблизно 2500 ... 3000 хв<sup>-1</sup>. У таких швидкохідних іде до 85 ... 90% обертаючого моменту на валу диска витрачається на його прискорення у перехідному режимі з метою можливо швидшого його використання, бо фрикційні ІДЕ є елементами зі стаціонарним процесом інтегрування та диференціювання.

Тож зазвичай задаються граничні значення швидкості і прискорення вала диска ( $\omega_\alpha$ , і  $\alpha_\alpha$ ) і прискорення ролика ( $\omega_a$ ), за якими і вибирають передатне і, редуктора від двигуна до валу гвинта каретки ролик. Введемо позначення:  $\phi$ -кут повороту двигуна,  $\nu$  - кут повороту вала гвинта каретки ролика,  $\omega_\phi$ ,  $\omega_\nu$  - їх кутові швидкості і отримаємо з формули (1.1):

$$\omega_\beta = \frac{\omega_\alpha \rho}{r} = h\nu\omega_\alpha/r \quad (1.3)$$

де  $\rho = h\nu$ .

Постійна фрикційного ІДЕ вибирається зазвичай округленої до величини, кратної 10, наприклад: 0,01; 0,001 і т. д.

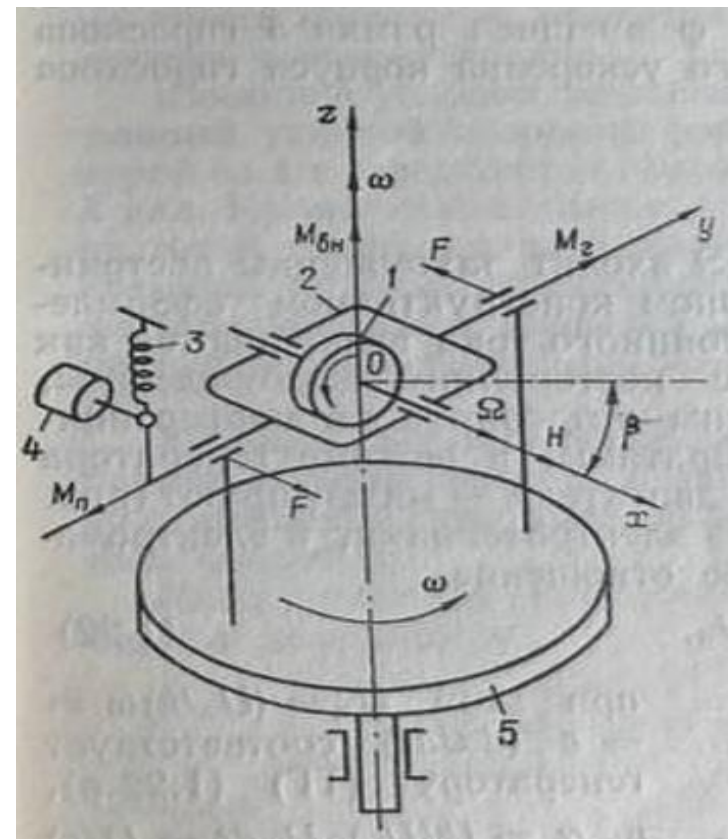
Точність дискових фрикційних ІДЕ з роликом доведена до  $10^{-4}$  фрикційні іде з кульками і грибоподібні менш точні (похибка порядку 0,5 %), хоча більш прості по конструкції і мають менші габаритні розміри.

Фрикційна група іде має наступні властивості має два входи, один вихід і має здатність Інтегрувати і диференціюють по  $x$ ; необоротна; інерційна; використовую стаціонарні процеси.

### 3. Гіроскопічні ІДЕ.

**Диференціюючий гіроскоп.** Розглянемо поведінку гіроскопа з двома ступенями свободи на обертовій підставі (рис. 1.3) складається з ротора 1, рамки підвісу 2, з'єднаної з проти діючої пружиною 3, що створює протидіє момент  $M_p$  і демпфером 4, встановлена на обертвовому з деякою постійною швидкістю про диск 5 навколо осі  $oz$ .

В цьому випадку ротор гіроскопа бере участь в двох рухах: власному обертанні зі швидкістю  $\Omega$  і вимушеному обертанні зі швидкістю  $\omega$  разом з диском. Оскільки гіроскоп, володіючи більшою інерцією, прагне зберегти незмінним напрямком головної осі  $ox$  обертання ротора, то підшипники рамки 2, обертаючи разом з диском, чинять тиск на осі рамки 2 (сил  $F$ ). Ці сили створюють момент  $M_{вн}$ , який для гіроскопа є зовнішнім. Таким чином, при обертанні на гіроскоп діє зовнішній момент, напрямком якого збігається з напрямком кутової швидкості обертання диска  $\omega$  в результаті цього виникає гіроскопічний момент  $M_g = -H\omega$  і, отже, прецесійний рух навколо осі  $Oy$ .



На рис. 1.3 Диференціюючий гіроскоп ІДЕ



Рівняння руху рамки гіроскопа запишемо виходячи з того, що сума всіх моментів, що діють на рамку 2, дорівнює нулю:

$$J_y\beta + k_d\beta + k_{\Pi}\beta = H\omega \quad (1.4)$$

де  $J_y\beta$  - інерційний момент;  $k_d\beta$  - демпфуючий момент;  $k_{\Pi}\beta$  - момент протидії пружини;  $H\omega$  – гіроскопічний момент.

Рішення отриманого лінійного неоднорідного диференціального рівняння (1.4) складається з суми частотного і загального рішення:

$$\beta_{\Pi} = \beta_{\text{ч}} + \beta_{\text{заг}}$$

Знаходимо приватне рішення правої частини рівняння

$$\beta_{\text{ч}} = H\omega/k_{\Pi}$$

$$\beta = (H/k_{\Pi})\omega = (H/k_{\Pi})da/dt \quad (1.5)$$

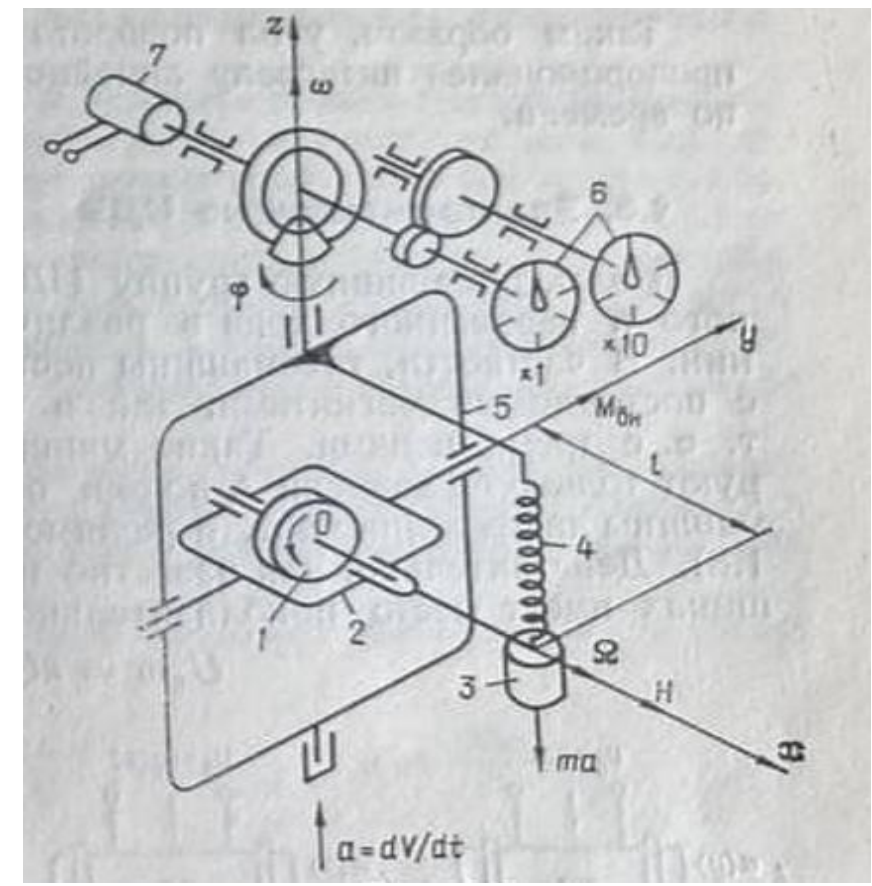
Як видно з формули (1.5), сталі значення кута відхилення  $\beta$  власній осі гіроскопа для певних  $H$  і  $k_{\Pi}$  пропорційно кутовій швидкості  $\omega$  корпусу Гіроскопа, а отже, і об'єкта, на якому він встановлений, або похідною за часом від кута повороту корпусу гіроскопа. Таким чином, двоступеневої гіроскоп з демпфером і пружиною є диференціатором.

**Інтегруючий гіроскоп** (гіроскопічний інтегратор) представляє собою триступеневої гіроскоп, ротор 1 гіромотора якого обертається з постійною кутовою швидкістю  $\Omega$  в опорах внутрішньої рамки 2 (рис . 1.4). На рамці 2 встановлений вантаж 3 масою  $m$ , реагують на зміну прискорення та врівноважування у вихідний стан пружини 4. Звіт результат інтегрування у вигляді кута  $\varphi$  повороту рамки здійснюється за допомогою шкали 6, а дистанційна передача показань за допомогою електричного перетворювача кута 7.

Гіроскопічний інтегратор лінійних прискорень працює наступним чином. Обертається з кутовою швидкістю  $\Omega$  гіромотора 1 створює кінетичний момент гіроскопа  $H$ , що визначається за формулою  $H = J\Omega$ , де  $J$ -момент інерції гіроскопа щодо головної осі  $Ox$ ; кутова швидкість ротора. Оскільки пружина 4 врівноважує вантаж 2, то момент зовнішніх сил на рамку 5 не діє, і вона знаходиться в вихідне положення. Відлік за шкалами 6 має початкові значення. Вплив лінійного прискорення вздовж осі  $z$  виникає момент зовнішніх сил  $M_{BH}$ , що визначається залежністю  $M_{BH} = mal$ , де  $m$  - незбалансована маса ротора гіромотора;  $a$ -дійсне прискорення на гіроскоп;  $l$ -відстань від осі обертання рамки до точки зосередження незбалансованої маси. Момент  $M_{BH}$  викликає поворот зовнішньої рамки 5 навколо осі  $z$  зі швидкістю при якій момент зовнішніх сил врівноважується моментом  $H\omega$ :

$$mal = H\omega, \text{ так як } \omega = \frac{d\varphi}{dt}, \text{ тоді } \varphi = (ml/H) \int_{t_1}^{t_2} a dt. \quad (1.6)$$

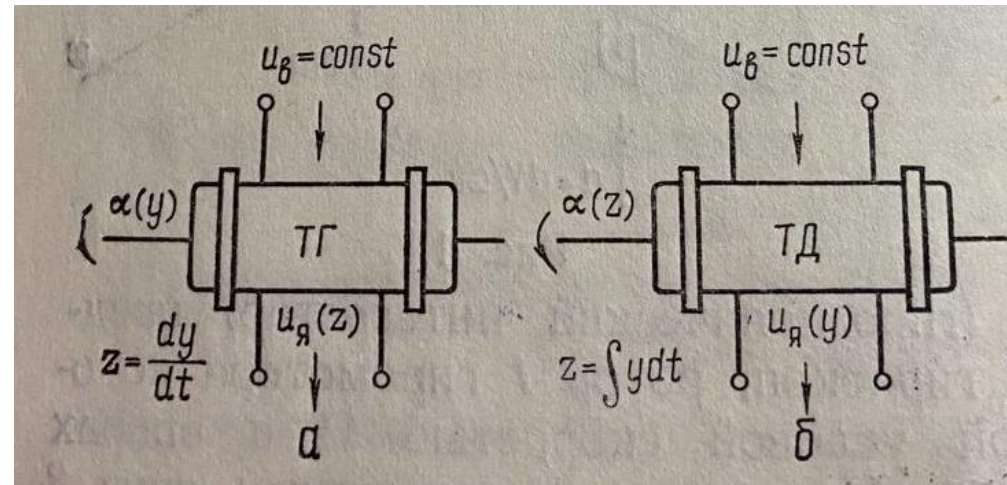
Таким чином, кут повороту  $\varphi$  внутрішньої рамки 5 гіроскоп пропорційний інтегралу лінійного прискорення корпусу гіроскопа в часі.



На рис. 1.4 Інтегруючий гіроскоп ІДЕ

## 4. Електромашинні ІДЕ

В електромашинну групу ІДЕ входять тахомашини постійного і змінного струму в різному конструктивному оформленні. Зокрема, тахомашини постійного струму виконуються як з постійними магнітами, так і зі стороннім збудженням, тобто з трьома ланцюгами. Такі машини інтегрують і диференціюють тільки за часом  $t$ , але вони оборотні; в режимі генератора машини диференціюють, в режимі двигуна - інтегрують (рис. 1.5).



На рис. 1.5 Електромашинні ІДЕ

Дійсно, як відомо з електротехніки, в електромашинах має місце приблизне відношення

$$U_B \omega = r U_J \quad (1.7)$$

при цьому  $U_J = (U_S/k) = \omega = c (da/dt)$  відповідає генератору (ТГ) (1.5, а),

а  $a = (k/U_B)$ ,  $U_J dt = (1/c)$ ,  $\int U_J dt$  – ДТ-двигуну (ТД) (1.5, б), де ТГ, ТД-тахогенератор, таходвигун:  $\omega$ , а-кутова швидкість і кут повороту вала ротора;  $U_B, U_J$  напруга збудження і в ланцюг якоря.

Множувальна дія у машини зі стороннім збудженням є (добуток  $U_B$ ), але можливість запису в диференціальній формі правої частини (1.7) відсутня. Тому вони диференціюють і інтегрують тільки за часом. Для отримання ІДЕ за невчасним аргументом  $x$  доводиться будувати схему з двох або трьох машин. Загальні властивості електромашинних ІДЕ: Інтегрують і диференціюють тільки за часом, мають істинну оборотність, мають інерційність, використовують стаціонарні процеси.