

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ТЕРНОПЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**імені ІВАНА ПУЛЮЯ**

Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

**Метрологія,  
технологічні вимірювання та прилади**

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4**

**«Дослідження диференційного індуктивного  
давача переміщення»**

**ТЕРНОПІЛЬ 2015**

## **Тема: ДОСЛІДЖЕННЯ ДИФЕРЕНЦІЙНОГО ІНДУКЦІЙНОГО ДАВАЧА І ВИКОРСТАННЯ ЙОГО ДЛЯ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ РОЗМІРУ ДЕТАЛЕЙ.**

### **Мета роботи:**

1. Ознайомитись з конструкцією та принципом дії індуктивного давача.
2. Зняти дослідним шляхом вихідну характеристику давача при трьох значеннях напруги живлення  $I_H = f(\delta)$ .
3. Визначити ціну поділки і чутливість, а також встановити вплив напруги на точність роботи індуктивного давача.

### **Теоретичні відомості.**

Принцип дії індуктивних давачів полягає в зміні їх індуктивності і взаємоіндукції. Індуктивні давачі працюють на змінному струмі і широко використовуються в приладах автоматики для вимірювання і регулювання малих кутових і лінійних переміщень. Вони вони можуть використовуватись також для вимірювання і контролю тиску рідини, газу, температури, зусилля, швидкості, прискорення та ін.

До переваг індуктивних давачів відносяться: простота конструкції і надійність в роботі, так як відсутній ковзаючий контакт; відносно велика величина потужності на виході давача, що дає можливість безпосередньо до давача підключити контрольний прилад; можливість живлення промисловою частотою. Недоліком простого індуктивного давача є залежність його характеристик від частоти джерела живлення, що впливає на точність роботи.

Простий індуктивний давач, виконаний на одному осерді, являє собою магнітне коло з повітряним зазором  $\delta_0$  (рис. 1). Цифрами позначено: 1 – магнітопровід, 2 – яркір; 3 – котушка індуктивності; 4 – навантаження (регулюючий прилад). Магнітопровід і яркір виготовлено з магнітом'якого матеріалу. Вихідним параметром індуктивного давача є зміна індуктивності  $L$  (або повного опору  $Z$ ) обмотки осердя при зміні величини повітряного зазору (і як результат, зміна струму  $I_H$  або напруги  $U_H$  на виході).

При наявності невеликого зазору  $\delta$  індуктивність котушки  $L$  (дроселя) із змінним зазором без врахування реактивного опору, обумовлена втратами на виході струму і гістерезисом:

$$L = \varpi \frac{\Phi}{I_H}, \quad (1)$$

де  $\varpi$  – кількість витків котушки;  $\Phi$  – магнітний потік, Вб;  $I_H$  – струм котушки, А.

Магнітний потік:

$$\Phi = \frac{I_H \omega}{R_{m.c} + R_{m.\delta}} = \frac{0,4 \cdot \pi I \omega}{R_{m.c} + R_{m.\delta}}, \quad (2)$$

де  $R_{m.c} = R_{m.ct} + R_{m.\delta}$  – магнітний опір кола, який являє собою суму магнітного

опору магнітопровода  $R_{m.cm} = \frac{l_{cm}}{\mu S_m}$  та магнітного опору двох повітряних

зазорів:  $R_{m.\delta} = \frac{2\delta}{\mu_0 S_\delta}$ , тобто (3)

$$R_{m.ц} = \frac{l_{cm}}{\mu S_m} + \frac{2\delta}{S_\delta \mu_0}, \quad (3)$$

де  $\mu$ ,  $\mu_0$  – магнітна проникність матеріалу осердя і повітряного зазору;  
 $\mu_0 = 4\pi/10^{-7}$  Гн/м;

$\delta$  – величина повітряного зазору, м;

$S_m = S_\delta$  – площа поперечного перерізу або повітряного зазору, м<sup>2</sup>.

Підставивши (2) і (3) в (1), отримаємо значення індуктивності дроселя:

$$L = \frac{\omega^2}{R_{m.cm} + \frac{2\delta}{S_m \mu_0}}. \quad (4)$$

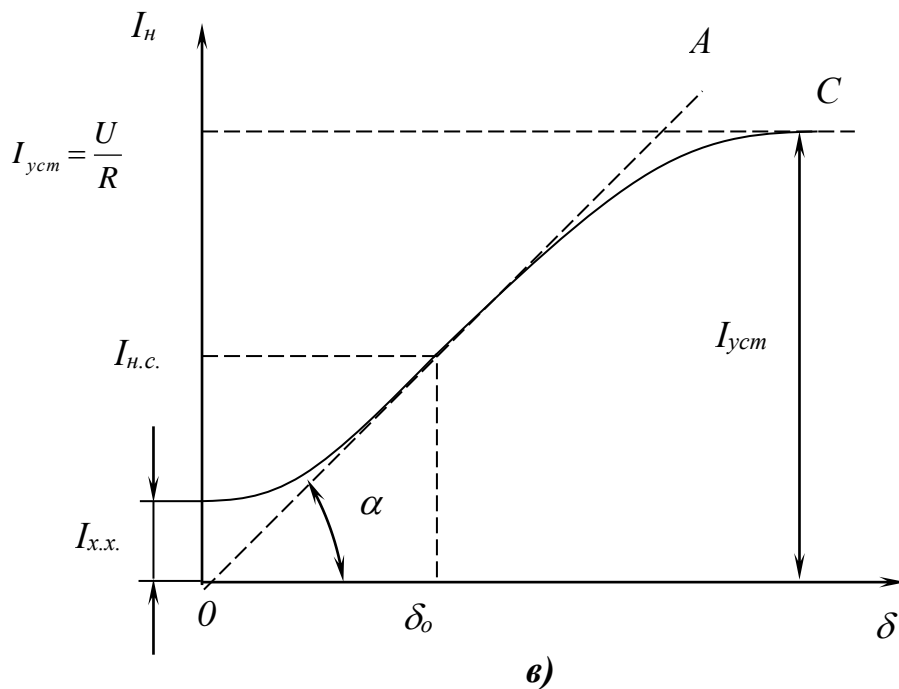
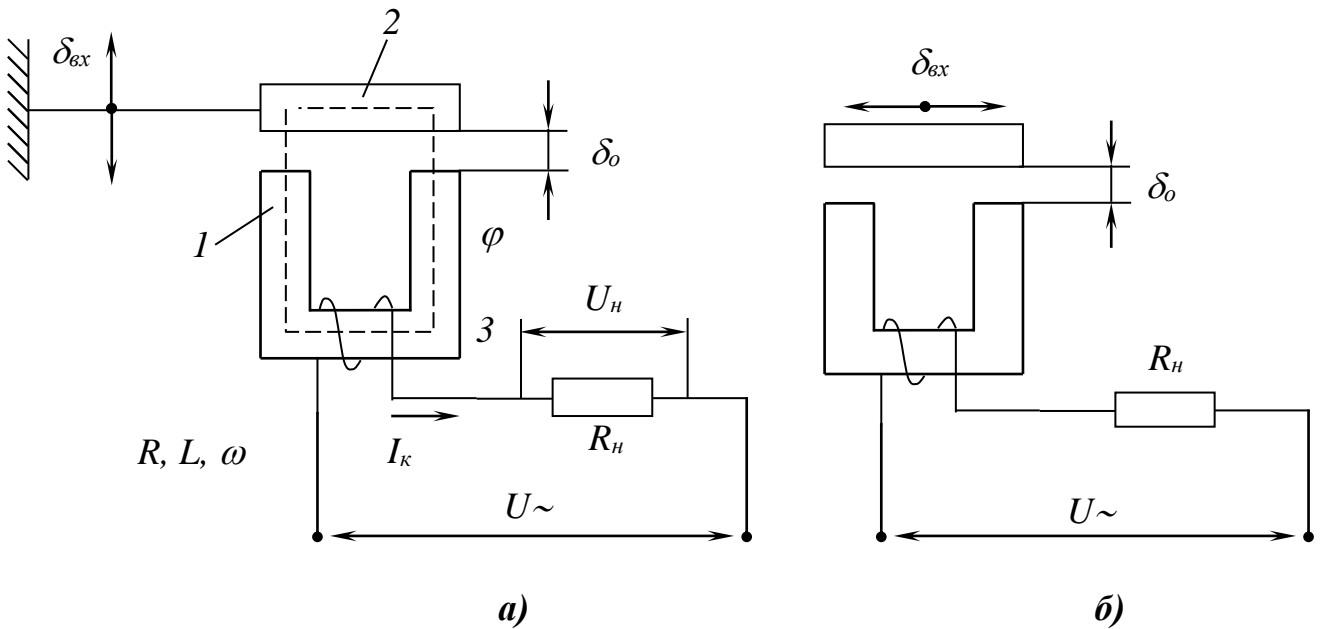


Рис.1

Величина струму в котушці

$$I_H = \frac{U_{\sim}}{Z}, \quad (5)$$

де  $Z$  – повний опір котушки;

$R, R_H$  – активний опір котушки індуктивності і навантаження;

$\omega$  – кругова частота змінного струму.

Таким чином

$$I_H = \frac{U_{\sim}}{\sqrt{(R + R_H)^2 + (\omega L)^2}}. \quad (6)$$

На основі одержаного виразу можна зробити висновок, що при незмінних конструктивних параметрах давача і при постійній напрузі джерела живлення, струм в колі навантаження залежить від величини повітряного зазору  $\delta$ . Ця залежність називається вихідною характеристикою давача  $I_H = f(\delta)$  (рис. 1.б).

Змінити повітряний зазор  $\delta$  можна шляхом переміщення якоря, що використовується в давачах переміщення. Якщо в повітряний зазор помістити феромагнітне тіло, розміри якого незмінні, а змінюються тільки властивості матеріалу, то такий давач може бути використаний для визначення складу даного матеріалу.

В більшості конструкцій індуктивних давачів при ненасиченому магнітопроводі має місце нерівність  $R_{cm} \ll R_{m,\delta}$ . При цьому активний опір кола котушки значно менший, ніж індуктивний опір, тобто  $(R + R_H) \ll \omega L$ . Тоді величиною  $R_{cm}$  та  $(R + R_H)$  в виразі (6) можна знехтувати, записавши його в спрощеному вигляді:

$$I_H = \frac{U_{\sim} \cdot 2\delta}{\omega \varpi^2 S_m \mu_0}, \quad (7)$$

звідки

$$I_H = K_1 \delta, \quad (8)$$

де  $K_1 = \frac{2U_{\sim}}{\omega \varpi^2 S_m \mu_0}$  – крутизна характеристики давача або коефіцієнт передачі давача по струму.

Звичайно  $K_1 = \tan \alpha$  (рис. 1.б). Дійсна характеристика давача  $BC$  відрізняється від ідеальної характеристики, побудованої за формулою (8). Ділянку  $OB$  дійсної характеристики індуктивного давача визначає струм холостого ходу  $I_{x.x.}$ . Формула (8) не враховує наявності струму холостого ходу, так як при її виведенні не враховувалось, що матеріал магнітопроводу не є ідеальним, тобто його магнітний опір  $R_{m,cm} \approx 0$ . На відміну від ідеальної характеристики, дійсна характеристика містить ділянку, яка визначається струмом насичення  $I_{нас}$  (крива  $BC$ ), тобто при великому повітряному зазорі струм в котушці давача не може перевищувати встановленого значення (коли  $\omega L \approx R + R_H$ ).

Звичайно робочу точку індуктивного давача вибирають посередині прямолінійної характеристики. Цій точці відповідає початковий струм насичення  $I_{H,0}$  і початковий зазор  $\delta_0$ .

Індуктивні давачі із змінним зазором мають високу чутливість і реагують на дуже малу зміну зазору (0,1...0,5 мм). Чутливість індуктивного давача  $\left(S_{\delta} = \frac{L}{\delta}\right)$  можна визначити з формули (4), вважаючи в ній  $R_{m.ct} \ll R_{m.\delta}$

При збільшенні зазору  $\delta$  різко падає чутливість, тому давач зображений на рис. 1.а, може використовуватись тільки при малих переміщеннях якоря (0,1...0,5 мм). При більшому повітряному зазорі залежність  $L=f(\delta)$  є суттєво нелінійною. При зміні переміщення до 5...15 мм використовують давач із зміною площею (рис. 1.в), який має меншу нелінійність.

Перевагами розглянутих вище індуктивних давачів є:

1. Висока чутливість;
2. Надійність роботи;
3. Великий термін служби;
4. Велика потужність на виході (до сотні вольт-ампер)

Недоліки:

1. Нелінійність характеристики;
2. Наявність струму холостого ходу на виході давача при нульовому положенні якоря, тобто при  $\delta_{ex}=0$ ;
3. Необхідність значних зусиль для переміщення якоря, так як в процесі роботи давача на якір діє тягове зусилля із сторони електромагніта.

Вказані недоліки відсутні в реверсивних (двотактних) давачах, які можуть бути виконані або по диференційній (рис. 2.а), або по мостовій (рис. 2.б) схемі. В принципі давачі являють собою сукупність двох неререверсивних давачів з загальним якорем. При використанні  $III$  – подібного сталюого магнітопроводу розміри давача зменшуються, крім того, полегшується технологія намотування котушки. Диференційний індуктивний давач потребує два окремих джерела напруги  $\frac{U}{2}$ , для чого в схемі (див. рис.2.а) використовується трансформатор  $TP$ . Схема, приведена на рис. 2.б, виконана по принципу мостової схеми на змінному струмі.

При середньому положенні якоря  $\delta'_0 = \delta''_0$ , індуктивний опір обох котушок однаковий і струм, який протікає в колі навантаження  $I_n=0$ . Тягові зусилля, які діють на якір від двох котушок взаємно компенсуються по всьому робочому діапазоні переміщення якоря. Однак, треба відмітити, що повна компенсація сил можлива тільки при середньому положенні якоря. При найменшому відхиленні якоря в ту чи іншу сторону від середнього положення змінюється величина індуктивного опору котушок і в навантаженні з'являється струм, амплітуду якого пропорційна зміщенню якоря від середнього положення.

Використання мостових і диференційних схем дозволяє значно розширити лінійну ділянку статичної характеристики індуктивного давача. Крім цього ці давачі мають більшу чутливість, меншу температурну похибку, більшу точність.

Статична характеристика реверсивного давача зображена на рис. 2.в (крива 3). Ця характеристика (загальна) побудована шляхом алгебраїчного сумування ординат характеристик кожного з неререверсивних давачів (1 і 2).

Чутливість реверсивної схеми в два рази більша ніж нереверсивної.

При використанні фазочутливих детекторів можна фіксувати не тільки величину, але й напрям зміщення якоря за допомогою приладу 3

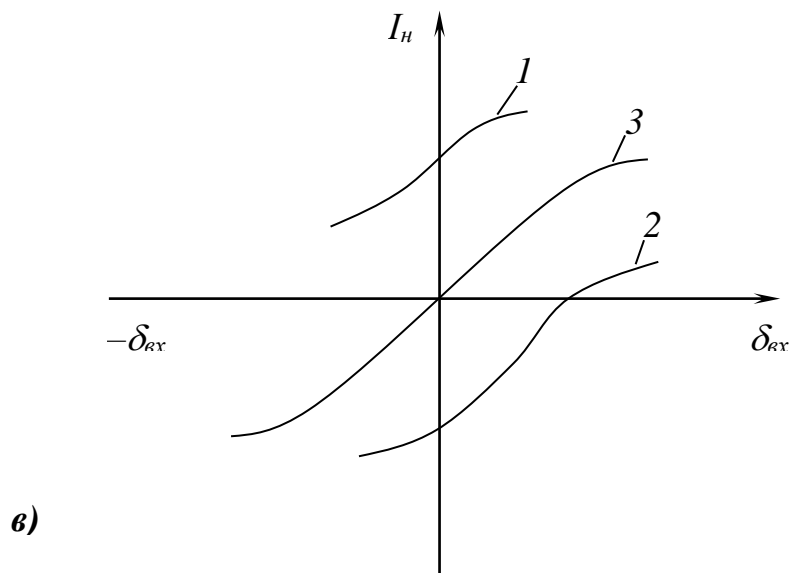
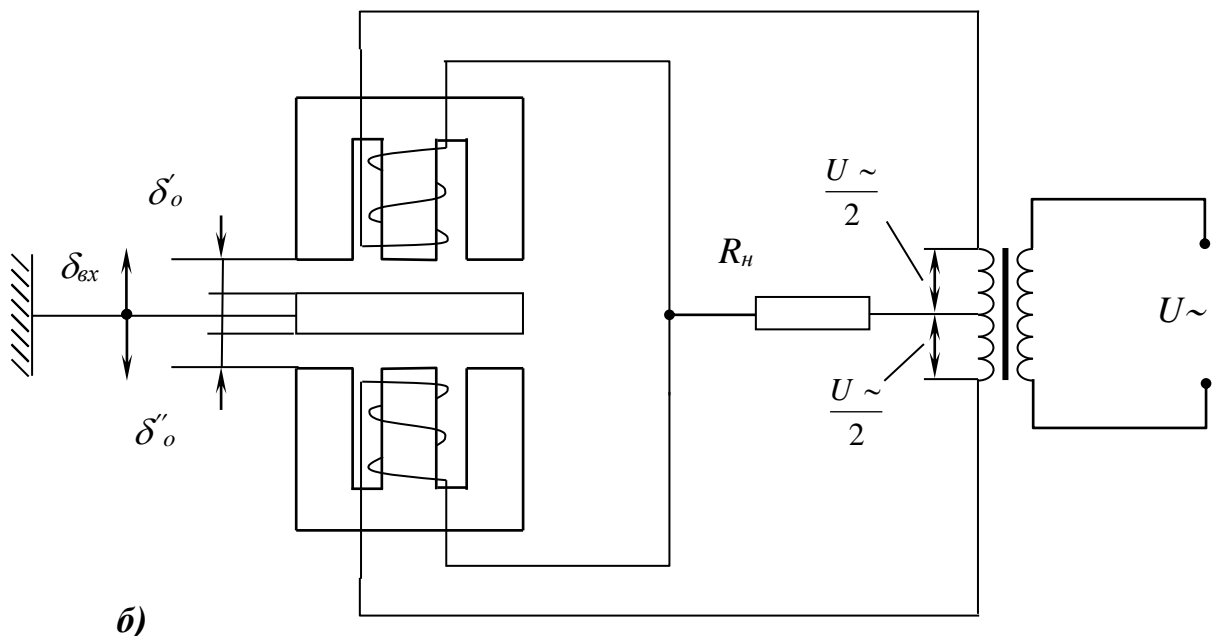
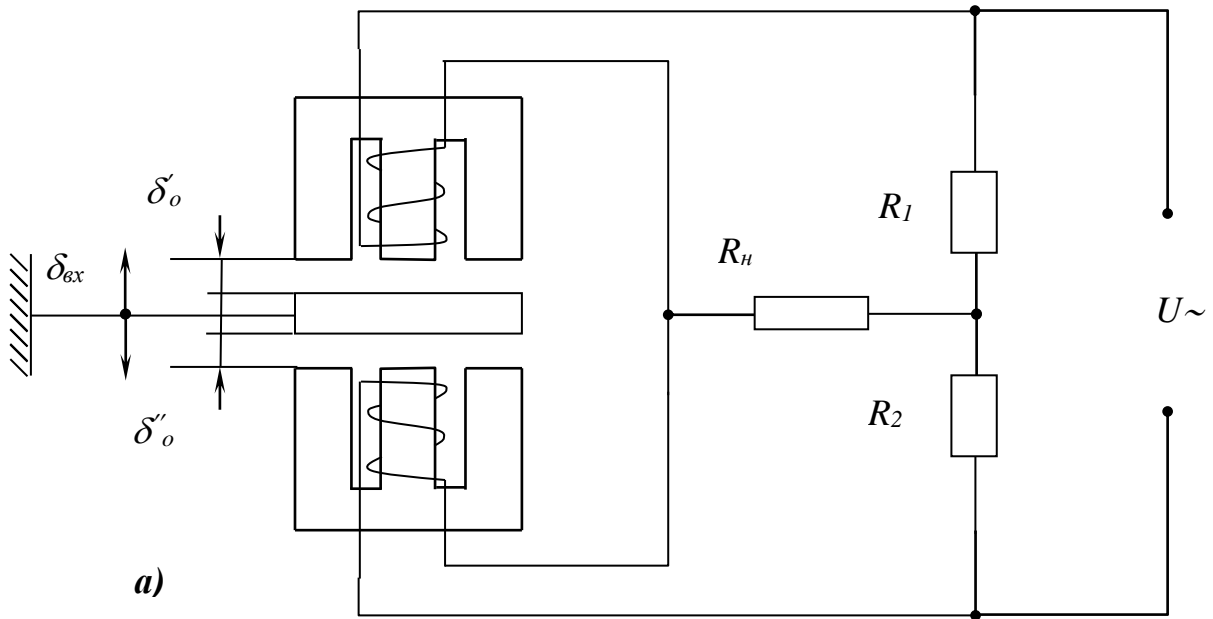


Рис. 2

нульовою відміткою посередині шкали.

До недоліків реверсивних давачів відносяться:

1. Технологічна складність установки на нуль ( $I_{н.0}$ ). Пояснюється це тим, що в процесі налагодження схеми важко забезпечити рівність активних і резистивних опорів;
2. Наявність струму розбалансу через неповну симетрію схеми (при  $\delta_{ex}=0$ );
3. Зменшення чутливості схеми при збільшенні  $\delta_{ex}$ ;
4. Низький к.к.д. через втрати в опорах  $R_1$  і  $R_2$  мостових давачів (їх чутливість в 2 рази менша, ніж в диференційних).

## Експериментальне обладнання.

Прилад АНІТІМ 357/ДІ-І призначений для контролю розмірів деталей в процесі шліфування методом врізування. В комплект приладу входять два основних вузли: давач ДУ-2 і електронний перетворювач – блок АНІТІМ 357/ДІ-І, що містить підсилювач, електронне реле ЕР, вимірюваний прилад.

В приладі АНІТІМ 357/ДІ-І порівнюються моменти співпадання розміру виробів з розміром еталона, що характеризується балансом вимірювального моста змінного струму, створеного обмотками диференційного трансформатора і котушки диференційного підсилювача. Сигнал, що надходить в електронний блок, зв'язаний розміром виробу і використовується для керування електромагнітним реле, що видає команди керування верстатом. Одночасно сигнал надходить на вимірювальний прилад, який служить для візуального контролю за обробкою деталі.

Величина струму, що протікає через вимірювальний прилад, визначається амплітудою сигналу який залежить від переміщення якоря давача відносно точки балансу.

Таблиця 1

### Технічна характеристика приладу АНІТІМ 357/ДІ-І.

Діаметр виробів, що контролюється, мм	від 1 до 130
Кількість команд	2
Статична похибка, %	$\pm 10$
Границі регулювання попередньої команди, мм	від $-0,2$ до $0,15$
Час прогрівання, хв	20
Напруга живлення, В	127/220, $\pm 15\%$
Потужність, Вт	40



Рис.3

Лабораторний стенд для дослідження диференційного індуктивного давача



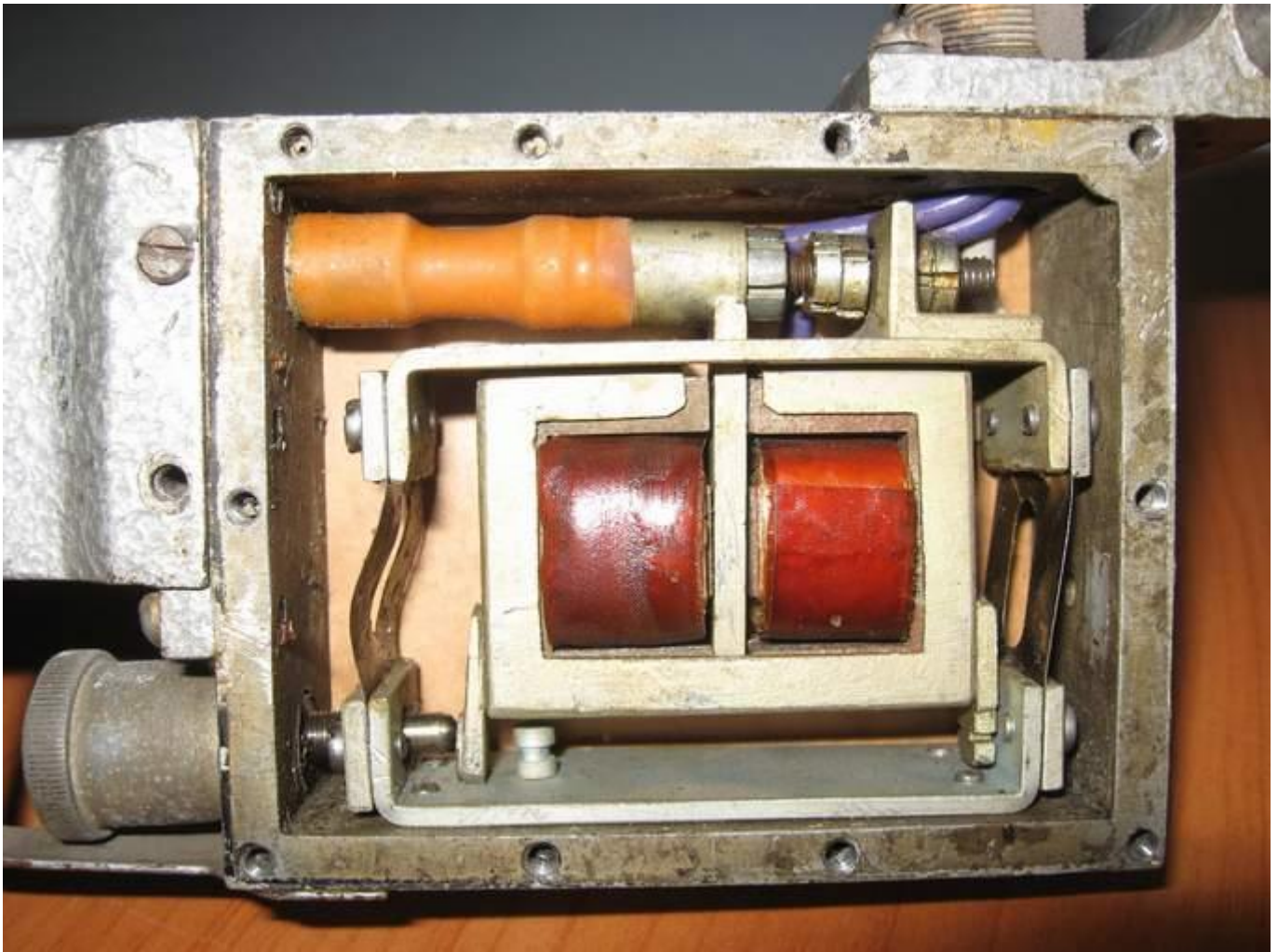


Рис.4

## Диференційний індуктивний давач

### **Хід виконання роботи.**

1. Ознайомитись з будовою та принципом роботи різних типів індуктивних давачів.
2. Зняти покази вимірювального приладу в залежності від переміщення якоря давача три рази і вивести середнє значення.
3. Визначити чутливість приладу  $S_{np}$  і ціну поділки  $C_{np}$  приладу в межах прямолінійної ділянки характеристики за формулами:

$$S_{np} = \frac{\Delta I}{\Delta \delta}; C_{np} = \frac{l}{S_{np}}, \quad (9)$$

де  $\Delta I$  – зміна показів приладу на поділку;

$\Delta \delta$  – приріст вимірювальної величини.

Для цього необхідно:

1. Встановити за допомогою регулюючого гвинта якір давача в положення “нульової” поділки (відмітка «0» на приладі АНІТІМ 357/ДІ-І).
2. Переміщувати якір давача в крайнє верхнє положення, через кожні 0,02 мм фіксувати покази вимірювального приладу. Одержані дані занести в таблицю 1.
3. За формулою (9) встановити чутливість приладу і ціну поділки вимірювального приладу.

Таблиця 2.

$\delta$ , мм	Покази приладу в поділках								
	Переміщення ввєрх				Переміщення вниз				
	1	2	3	Сер	1	2	3	Сер	

## Порядок оформлення звіту.

Звіт повинен містити:

1. Мету роботи.
2. Принципову електричну схему, перелік обладнання і приладів, використаних в роботі.
3. Таблицю 2.
4. Графіки залежності.
5. Висновки по роботі.

## Література.

1. М.Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, та ін.- Основи метрології та вимірювальної техніки , «Львівська політехніка», Львів 2001р, у двох томах.
2. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка.- Львів: Бєскід Біт, 2003.-544с.
3. Шикалов В.С. Технологічні вимірювання – Київ: Кондор, 2007 р.
4. Волчкевич Л.И. и др. Комплексная автоматизация производства. М., Машиностроение, 1983.