

Метрологічне забезпечення вимірювань лінійних переміщень

виконав: ст. гр. ІЯП-18м Куценко С. В.

керівник: д.т.н., проф. Кучерук В. Ю.

Актуальність

- Вимірювання лінійних переміщень об'єкта займають значне місце в різних галузях науки та техніки, зокрема, в машино та приладобудуванні, де вимірювання переміщень займають до 70 % від всіх вимірювань в галузі.
- У вузькому сенсі під метрологічним забезпеченням розуміють в тому числі і розробку методів вимірювань найвищої точності та створення на цій основі еталонів та зразкових засобів вимірювань.
- Тому розробка нових засобів вимірювання лінійних переміщень, які здатні забезпечувати зазначені характеристики є **актуальною задачею**.

Мета та завдання

- Очевидно, велику роль області забезпечення якості вимірювань відіграє метрологічне забезпечення засобів вимірювання лінійних переміщень, яке передбачає застосування наукових та організаційних норм і правил, а також розробку та виготовлення технічних засобів, необхідних для досягнення єдності та необхідної точності вимірювань,
- Для досягнення **поставленої мети** в роботі вирішуються наступні **завдання**:
 - проаналізувати існуючі методи і засоби вимірювання лінійних переміщень та оцінити сучасний стан метрологічного забезпечення;
 - розробити засіб вимірювання лінійних переміщень;
 - розробити методіку калібрування засобу вимірювання з розрахунками невизначеності.

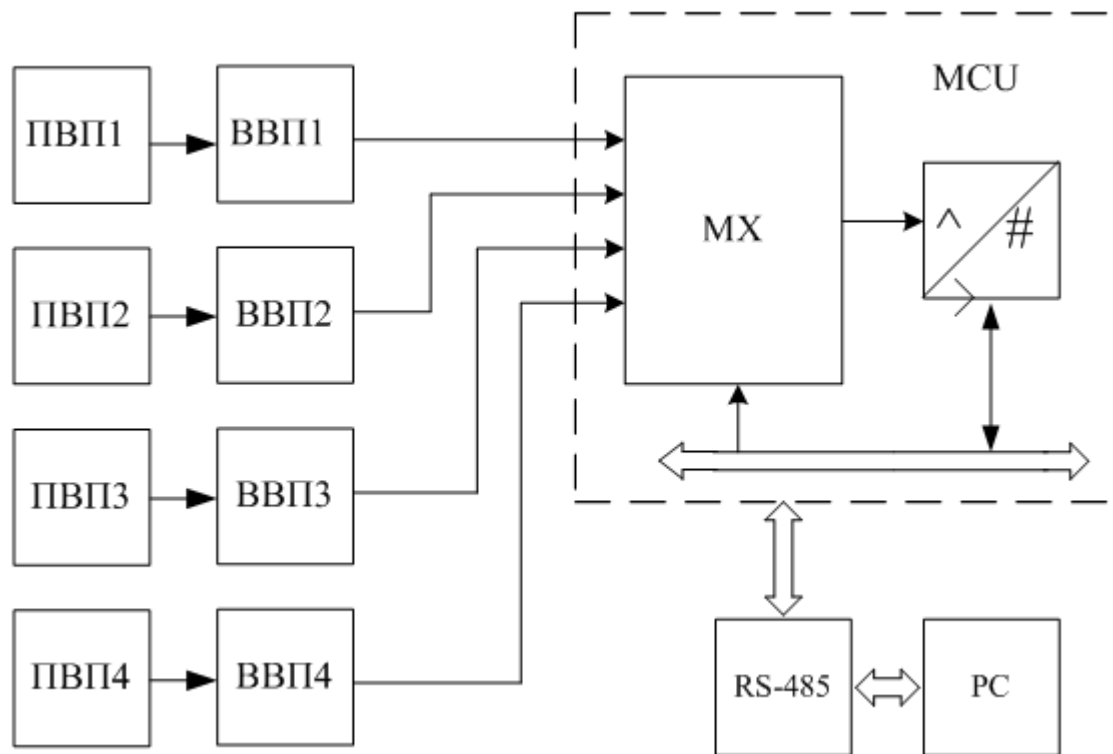
Об'єкт та предмет

- **Об'єктом** роботи є процес вимірювання лінійних переміщень.
- **Предмет** дослідження є шляхи покращення метрологічного забезпечення вимірювань лінійних переміщень.

Порівняльна характеристика

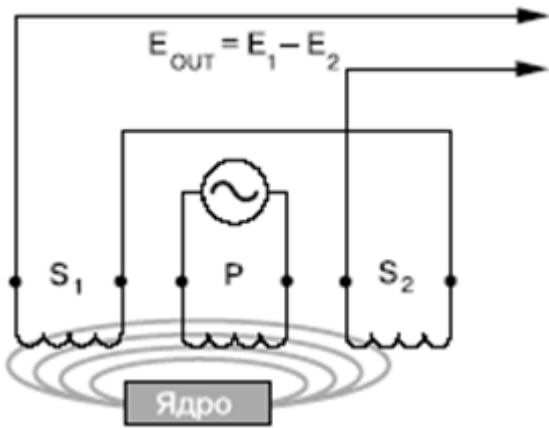
Тип датчика	Принцип дії	Переваги	Недоліки
Індуктивний датчик LVDT	Принцип дії датчиків переміщення LVDT заснований на індуктивному перетворенні механічного руху в електричний сигнал.	Простота виготовлення. Високий ступінь захисту від впливу зовнішніх електромагнітних полів і точність вимірювання. Висока надійність, порівняно низька вартість, безконтактний принцип дії, практично необмежений термін роботи, широкий робочий температурний діапазон.	Періодична динамічна похибка. Знакозмінна.
Датчик Холла	Ефект Холла – виникнення електричної напруги на бокових поверхнях пластини, через яку протікає електричний струм, якщо на цей струм впливає магнітне поле, перпендикулярно пластині.	Характеризується високою навантажувальною здатністю, лінійною характеристикою перетворення в робочому діапазоні, довгостроковою стабільністю параметрів і малим струмом споживання.	Вихідна напруга знаходиться в лінійній залежності від величини вектора магнітної індукції. За межами робочої області датчик входить в насичення.
Магніто-резистивний датчик	Ефект Гаусса – зміна електричного опору феромагнітних матеріалів в магнітному полі.	Висока чутливість, відсутність магнітного дрейфу, надійність та довговічність.	Недоліком є парна вольт-ерстедна характеристика, що вимагає для нормальної роботи додаткового магнітного зсуву і відносно високого гістерезису.
Фото-електричний датчик	Контролює положення допоміжної лінії, яка наноситься паралельно стиків.	Простота конструкції	Низька точність та завадостійкість при роботі в умовах сильного світлового випромінювання.
Ємнісний датчик	Засновані на залежності електричної ємності конденсатора від його розмірів, взаємного розташування його обкладок і від діелектричної проникності середовища між ними	Відсутність шумів; відсутність самонагрівання; простота конструкції, мала маса і габарити; висока чутливість, мале споживання енергії	Залежність результату вимірювання від зміни ємності кабелю; похибки, обумовлені залежністю ємності від зовнішніх умов похибки, які обумовлені паразитними струмами витоку

Структура засобу вимірювання лінійних переміщень



- ПВП - первинний вимірювальний перетворювач;
- ВВП - вторинний вимірювальний перетворювач;
- МХ – мультиплексор;
- А/# – аналого-цифровий перетворювач;
- MCU – мікроконтролер;
- RS-485 – інтерфейс;
- PC – персональний комп'ютер.

Первинний вимірювальний перетворювач (LVDT)

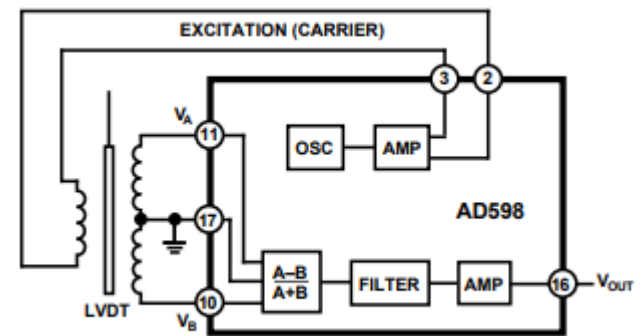


Параметр	Од. вим.	Значення			
		WL/5mm-T	WL/10mm-T	RL300	RL600
Діапазон вимірювань	мм	0...5	0...10	0...300	0...600
Точність	%	±0.2		±0.3	
Вібростійкість	м/с ²	150		100	
Напруга живлення	В	2,5		3	
Несуча частота	кГц	4.8		3	
Діапазон температур	°С	-20...80		-40...120	
Матеріал корпусу		нержавіюча сталь			
Довжина кабелю	м	3		до 100	

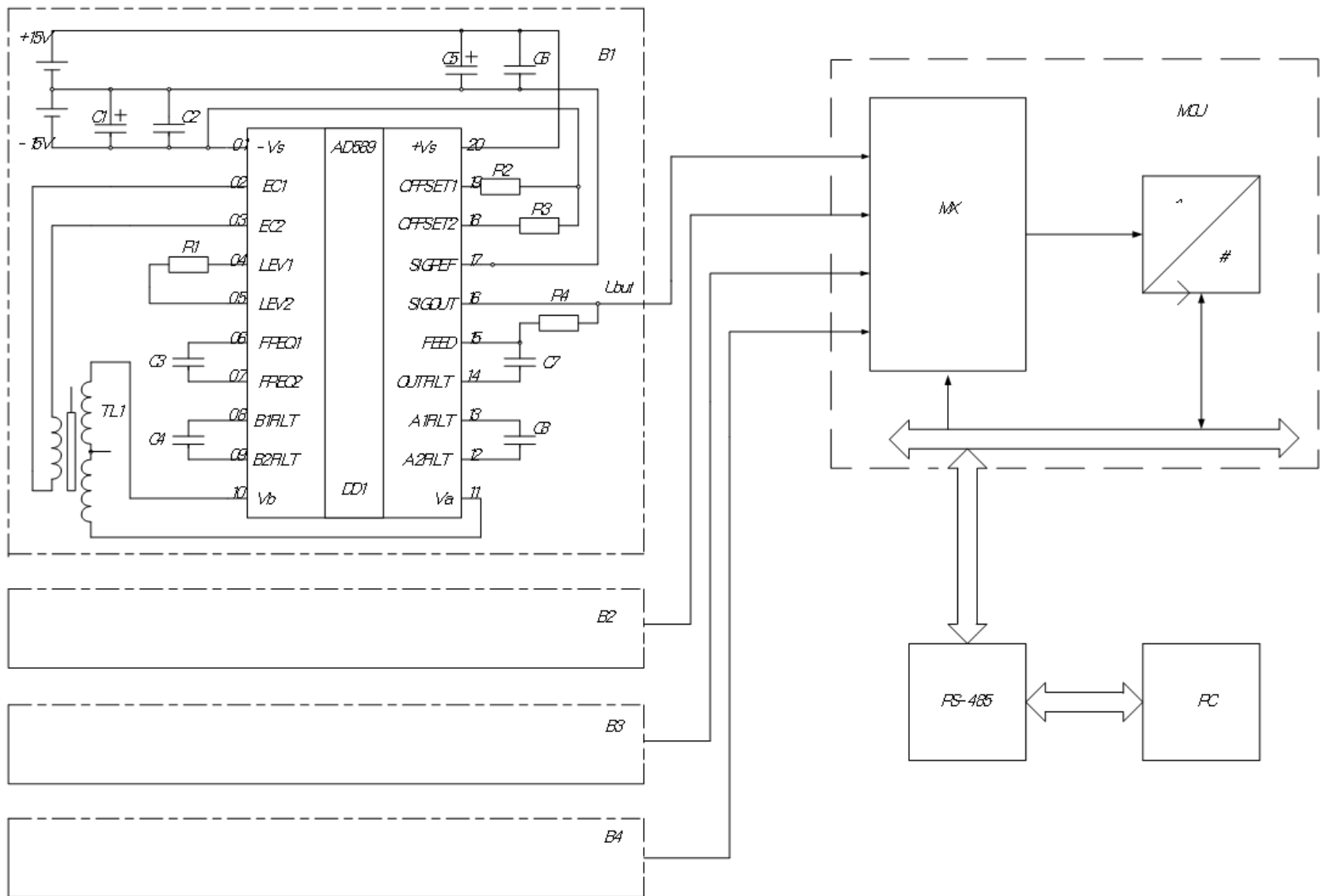
Вторинне вимірювальне перетворення

- **Основні характеристики мікросхеми AD598**

- Частота збудження, Гц 20...20000
- Напряга збудження, В ефф. 1,2...20
- Вихідний струм генератора, мА 40
- Диапазон вихідного сигналу, В ± 11
- Вихідний струм, мА 11
- Похибка повної шкали, % 0,4
- Дрейф повної шкали, ppm/°C 20
- Зсув в % від повної шкали 0,3
- Дрейф зміщення, ppm/°C 7
- Напряга живлення, В $\pm 13...17,5$
- Робоча температура, °C -40 ... 85,



Функціональна схема засобу вимірювання



Оцінка загальної похибки вимірювання

- Для первинного вимірювального перетворювача RL300/600 з діапазоном перетворення переміщення від 0 до 300/600 мм нелінійність передатної характеристики становит $\pm 0,3\%$. В абсолютних одиницях це буде складати 0,9 мм. **Отже $\sigma_1 = 0,9$ мм.**
- Похибку вторинного вимірювального перетворення згідно [18] визначають як комбінацію похибки коефіцієнта підсилення, мультиплікативну та адитивну складову підсилення сигналу. Для прикладу, в неайгіршому випадку похибка вторинного перетворення для AD598AD буде визначатись як: похибка підсилення при $+25\text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 1\%$ від розмаху) + мультиплікативна складова від $-40\text{ }^\circ\text{C}$ до $+25\text{ }^\circ\text{C}$ ($50\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ від максимального значення частоти живлення $\times 65\text{ }^\circ\text{C}$) + адитивна складова від $-40\text{ }^\circ\text{C}$ до $+25\text{ }^\circ\text{C}$ ($50\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ від максимального значення частоти живлення $\times 65\text{ }^\circ\text{C}$) = $1,65\%$ від розмаху. **Отже $\sigma_2 = 0,4125$ В.**
- Похибка АЦП. Оскільки диференціальна та інтегральна нелінійність відносяться до випадкових похибок і вони незалежать одна від одної їх доцільно додавати за формулою:

$$\left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 = \left(\frac{\Delta X_1}{X_1}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta X_n}{X_n}\right)^2$$

де $X_1 \dots X_n$ – номінальні значення;

$\Delta X_1 \dots \Delta X_n$ – похибки випадкових величин;

Y – номінальне значення вимірювальної величини;

ΔY – абсолютна похибка вимірювальної величини

Оцінка загальної похибки вимірювання

$$\begin{aligned}\left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)^2 &= \left(\frac{4,88 \times 10^{-3}}{5,0}\right)^2 + \left(\frac{7,32 \times 10^{-3}}{5,0}\right)^2 + \left(\frac{2,44 \times 10^{-3}}{5,0}\right)^2 = \\ &= 0,95 \cdot 10^{-3} + 2,14 \cdot 10^{-3} + 0,24 \cdot 10^{-3} = 3,33 \cdot 10^{-6} \\ \Delta Y &= 5,0 \times \sqrt{3,33 \cdot 10^{-6}} = 0,009 \text{ (В)} \\ \sigma_3 &= \mathbf{0,009 \text{ (В)}}\end{aligned}$$

- І загальна похибка вимірювання переміщення визначатиметься як:

$$\begin{aligned}\sigma_L &= \sqrt{k_1 \times \sigma_1^2 + k_2 \times \sigma_2^2 + k_3 \times \sigma_3^2} = \sqrt{0,9^2 + 0,4125^2 + 0,009^2} \\ &= \sqrt{0,81 + 0,17 + 0,000081} = 0,98 \text{ (мм)}\end{aligned}$$

Методика калібрування

- Математична модель вимірювання переміщення:

$$\Delta l = (l_c - l_n) + \delta l_T + \delta l_D$$

де l_c – виміряне середнє арифметичне значення лінійного переміщення, мм;
 l_n – номінальне значення лінійного переміщення, мм;
 δl_T – поправка на лінійне переміщення, мм;
 δl_D – поправка на дискретність, мм.

- Для кожної величини лінійного переміщення виконується по десять вимірювань. Оцінюється невизначеність за типом А. Математичне сподівання результату вимірювань рівне середньоарифметичному значенню.

Визначається стандартне відхилення результатів вимірювання:

$$S(L) = \sqrt{\frac{1}{9} \sum_{n=1}^{10} (l_i - l_c)^2}$$

Визначається стандартна невизначеність вимірювань:

$$U(l_c) = \frac{S(L)}{\sqrt{10}}$$

Стандартна невизначеність (за типом В), пов'язана з дискретністю показів засобу вимірювання лінійних переміщень визначається наступним чином: для рівномірного закону розподілу з межами рівними половині ціни найменшого розряду індикатора вимірювача лінійного переміщення невизначеність розраховується за формулою:

$$U(\delta l_D) = \frac{l_D}{2\sqrt{3}}$$

де l_D – величина найменшого розряду вимірювача лінійних переміщень.

Сумарна невизначеність визначається за формулою:

$$U(l) = \sqrt{U(l_c)^2 + U(l_D)^2}$$

а розширена невизначеність:

$$U = k \cdot U(l),$$

де k – коефіцієнт охоплення; (для рівня довіри 0,95 і нормального закону розподілу $k=1,96$).

Висновки

- Попередні розрахунки показують, що при заданих переметрах електричних компонентів вимірювального каналу переміщення загальна похибка вимірювання не повинна перевищувати 0,98 мм, що для діапазону вимірювання 0...600 мм у відносних одиницях становитиме 0,17 %. Розроблена методика калібрування засобу вимірювання лінійних переміщень дозволяє використовувати його в процесі передавання розмірів від еталонів до зразкових ЗВТ.
- **Наукова новизна** полягає у тому, що розроблена методика калібрування засобів вимірювання лінійних переміщень з використанням LVDT сенсорів дозволить використовувати такі засоби в процесі передавання розмірів від еталонів до зразкових ЗВТ.
- **Практична цінність** полягає у тому, що в роботі проведено узагальнення та систематизацію отриманих вхідних даних завдяки чому сформовано програму для підвищення рівня метрологічного забезпечення вимірювань лінійних переміщень.
- **Апробація результатів роботи.** За результатами магістерської кваліфікаційної роботи зроблено доповідь та опубліковано тези доповіді на [XLVII науково-технічній конференції факультету комп'ютерних систем і автоматики у 2018 році](#) [3] та п'ятій міжнародній науковій конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2019)» [4].