

## Лекція 5. Електромагнітні перетворювачі. Індуктивні перетворювачі

Індуктивні перетворювачі використовують для вимірювання і перетворення лінійних та кутових переміщень. Конструктивно вони можуть виконуватися одинарними і диференційними.

Принцип дії індуктивних перетворювачів заснований на зміні індуктивності обмотки перетворювача під дією перетворюваної механічної величини.

Індуктивність обмотки з осердям визначається виразом:

$$L = \frac{W^2}{R_M + R_\delta} \quad , \quad (2.13)$$

де  $W$  – число витків обмотки;  $R_M$  – магнітний опір магнітопроводу;  $R_\delta$  – магнітний опір повітряних зазорів.

Оскільки

$$R_M = \frac{\ell_m}{\mu \cdot S_M} \quad , \quad \text{а} \quad R_\delta = \frac{2\delta}{\mu_0 \cdot S_\delta} \quad , \quad (2.14)$$

де  $\ell_m$  – довжина середньої силової лінії по сталевій ділянці магнітопроводу;  $\delta$  – довжина повітряного зазору;  $\mu$  і  $\mu_0$  – магнітна проникність матеріалу магнітопроводу і повітря відповідно;  $S_M$  і  $S_\delta$  – площа поперечного перерізу магнітопроводу і повітряного зазору (рис. 2.9 ),

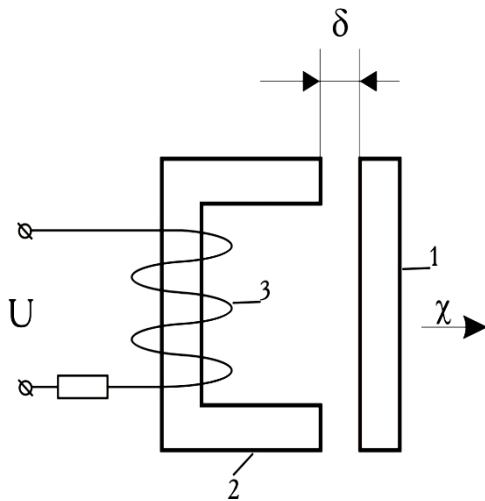


Рис. 2.9

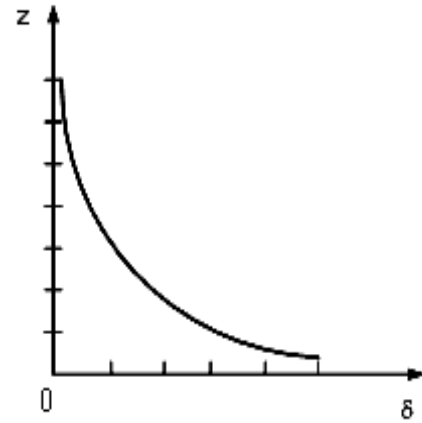


Рис. 2.10

то

$$L = \frac{W^2}{R_M + \frac{2\delta}{\mu_0 S_\delta}}$$

(2.15)

Згідно з (2.15) індуктивні перетворювачі можна побудувати на використанні зміни величин, що входять у цей вираз. Найбільше застосування знаходять індуктивні перетворювачі зі змінними величинами повітряного зазору, площі зазору, або магнітної проникності (магнітопружні датчики).

На рис. 2.9 зображений найпростіший одинарний індуктивний перетворювач лінійного переміщення. В ньому вимірюване переміщення  $x$  прикладається до рухомого феромагнітного якоря 1.

Зміна повітряного зазору  $\delta$  при переміщенні феромагнітного якоря 1, щодо нерухомого магнітопроводу 2, приводить до зміни індуктивності  $L$  обмотки 3, а отже і до зміни струму в обмотці, відповідно до виразу

$$i = \frac{\dot{U}}{Z},$$

(2.16)

де  $\dot{U}$  – напруга живлення ;  $Z = R + j\omega L$  – повний електричний опір обмотки;

$R$  – активний опір обмотки;

Індуктивність обмотки залежно від величини повітряного зазору  $\delta$  змінюється по гіперболічному закону (рис. 2.10 ).

Наближено лінійна ділянка характеристики відповідає  $0,1 \dots 0,15\delta_0$  ( $\delta_0$  – початковий зазор). Індуктивні перетворювачі зі змінною величиною  $\delta$  використовують для вимірювання малих переміщень (від одиниць мікронів до одиниць міліметрів).

До недоліків одинарних індуктивних перетворювачів варто віднести також нелінійність характеристики  $Z = f(\delta)$ , зміну сили струму в обмотці зі зміною живильної напруги і частоти, великий момент протидії через силу притягання якоря. Індуктивний перетворювач є електромагнітом, і його сила притягання нелінійно залежить від переміщення якоря.

Ці недоліки значно зменшені в диференціальних індуктивних перетворювачах. Вони складаються з двох однакових одинарних перетворювачів, що мають загальний рухомий елемент – якір 1 (рис. 2.11).

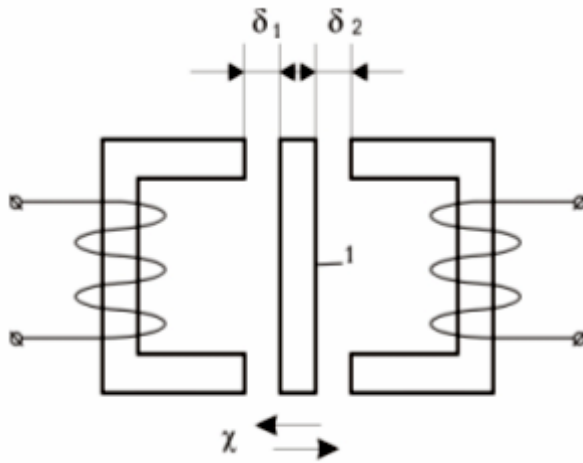


Рис. 2.11

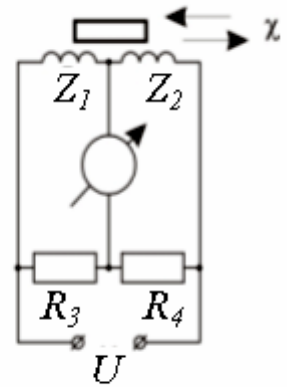


Рис. 2.12

У цих перетворювачах магнітопровід набирається з пластин електротехнічної сталі. У середньому положенні якоря 1 повітряні зазори дорівнюють  $\delta_1 = \delta_2 = \delta_0$  і будуть рівними індуктивності обох обмоток  $L_1 = L_2$ . Це забезпечує рівність струмів у обох обмотках. При переміщенні якоря індуктивність однієї обмотки зростає, а індуктивність іншої зменшується. Зазвичай диференціальний перетворювач включається в мостову нерівноважну схему, два плеча якої утворюються опорами котушок  $Z_1$  і  $Z_2$  перетворювача, а два інших плеча утворені активними опорами  $R_3$  і  $R_4$  (рис. 2.12).

У рівноважному стані моста, тобто при  $\delta_1 = \delta_2$ , струм у вимірювальній діагоналі моста не протікає. При зсуві якоря від нейтралі, у вимірювальній діагоналі потече струм, величина якого буде залежати від величини вимірюваного переміщення  $\chi$ , прикладеного до якоря. Завдяки використанню цих ланцюгів поліпшується лінійність функції перетворення, у два рази зростає чутливість і зменшується сила притягання якоря.

Фаза вихідної напруги змінюється на  $180^\circ$  при проходженні якорем нейтрального положення.

Похибка диференціальних індуктивних перетворювачів знаходиться в межах від 0,1 до 1,5%.

Для перетворення великих лінійних переміщень використовуються циліндричні індуктивні перетворювачі з розімкнутим магнітним ланцюгом (рис. 2.13).

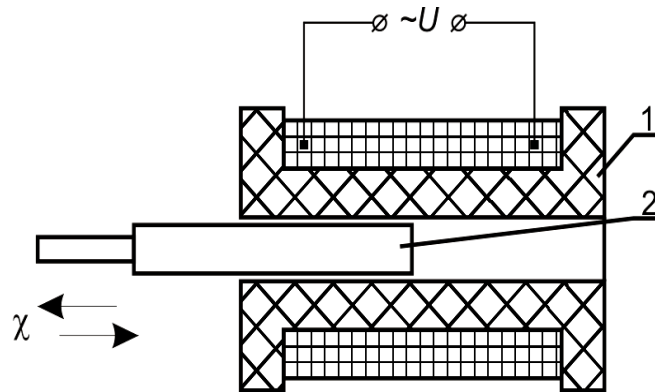


Рис. 2.13

В середині циліндричної котушки 1 переміщується стальне осердя 2. Переміщення осердя викликає зміну індуктивності котушки, яка є функцією перетворюваної механічної величини. Такі перетворювачі випускаються для перетворення переміщень до сотень міліметрів і мають лінійні характеристики.

На точність роботи індуктивних перетворювачів впливає зміна температури, під дією якої змінюється активний опір обмотки, змінюються розміри повітряних зазорів, а також величини магнітної проникності  $\mu$ . На точність роботи впливають коливання напруги живлення і частоти. Практично похибка індуктивних перетворювачів становить 0,1 ... 1,5%.

Для вимірювання зусиль (тисків) використовуються індуктивні перетворювачі зі зміною магнітної проникності (рис. 2.14), так звані магнітопружні датчики.

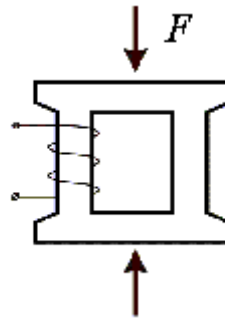


Рис. 2.14

Магнітна проникність  $\mu$  феромагнітного осердя змінюються під дією направленою на неї тиску  $F$ .

Деформація феромагнітних осердь під дією вимірюваної механічної напруги веде до зміни їхньої магнітної провідності. Цю властивість називають магнітопружністю. Магнітопружна чутливість феромагнітного матеріалу характеризує відносну зміну магнітної проникності матеріалу на одиницю прикладеної механічної напруги  $\sigma$ , тобто

$$\frac{\Delta\mu}{\mu} = a \cdot \sigma, \quad (2.17)$$

де  $a$  – коефіцієнт, що залежить від властивостей матеріалу.

Оскільки в магнітопружних індуктивних датчиках використовуються осердя без зазору, тобто  $\delta_0 = 0$ , то

$$L = \mu \frac{w^2 S_m}{\ell_m} \quad (2.18)$$

Характеристики реальних магнітопружних датчиків характеризуються деякою нелінійністю (порядку одиниць процентів).

Найбільшу магнітопружну чутливість мають сплави типу пермалой.

Магнітопружні індуктивні перетворювачі використовуються в основному для вимірювання великих зусиль  $F$  (рис. 2.15) (до кількох тисяч ньютонів).

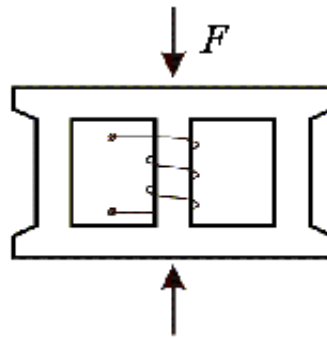


Рис. 2.15

Недоліками магнітопружних перетворювачів є наявність в характеристиці керування гістерезису, залежність магнітної проникності від температури і величини струму в котушці, а також залишкові деформації в осерді.

Похибки вимірювання таких перетворювачів становлять приблизно 3%.