

## Лекція 6. Трансформаторні та ємнісні перетворювачі

Для перетворення кутових і лінійних переміщень застосовують трансформаторні перетворювачі.

Трансформаторний (взаємноіндуктивний) перетворювач являє собою дві системи обмоток з магнітопроводом і рухливим якорем, зв'язаним із вимірюваним переміщенням.

Первинна система обмоток живиться змінним струмом, а з іншої (вторинної) знімається вихідний сигнал.

Величина зміни вихідного сигналу залежить від зміни індуктивного зв'язку між системами обмоток, що змінюється за рахунок переміщення якоря під дією перетворюваної величини. Таким чином, під впливом вимірюваного переміщення змінюється взаємна індуктивність, що приводить до зміни вихідної напруги.

Діюче значення ЕРС, що наводиться у вторинній обмотці потоком первинної обмотки, дорівнює

$$E_2 = \frac{\omega}{\sqrt{2}} \Phi_M W_2 = 4.44 \Phi_M W_2 f, \quad (2.19)$$

де  $\omega = 2\pi f$  - кутова частота живильного струму;  $W_2$  - число витків вторинної обмотки;  $\Phi_M$  – амплітудне значення магнітного потоку, пронизуючого вторинну обмотку.

Розрізняють два види трансформаторних перетворювачів: з магнітним опором, що змінюється, і нерухомою обмоткою, та з постійним магнітним опором, але з рухомою обмоткою.

Перетворювачі першого виду конструктивно аналогічні індуктивним перетворювачам і відрізняються тим, що замість однієї обмотки мають дві обмотки. Так, наприклад, перетворювач (рис. 2.16,а) складається з П-подібного магнітопроводу 1, рухомого якоря 2 і двох обмоток  $W_1$  і  $W_2$ . Вимірюване лінійне переміщення  $x$  переміщує якір, що викликає зміну повітряного зазору  $\delta$ . Зміна  $\delta$  в свою чергу змінює магнітний опір  $R_M$  і взаємну індуктивність  $M$ .

При цьому змінюється вторинна індуктивність ЕРС

$$E_2 = W_2 \frac{d\Phi}{dt} \approx \frac{\omega W_1 I_1 W_2}{R_M + \frac{\delta}{\mu_0 S}}, \quad (2.20)$$

де  $W_1$  і  $W_2$  – кількість витків намагнічувальної (первинної) та вимірювальної (вторинної) обмоток;  $I_1$  – намагнічувальний струм;  $\delta$  та  $S$  – довжина та площа повітряного проміжку.

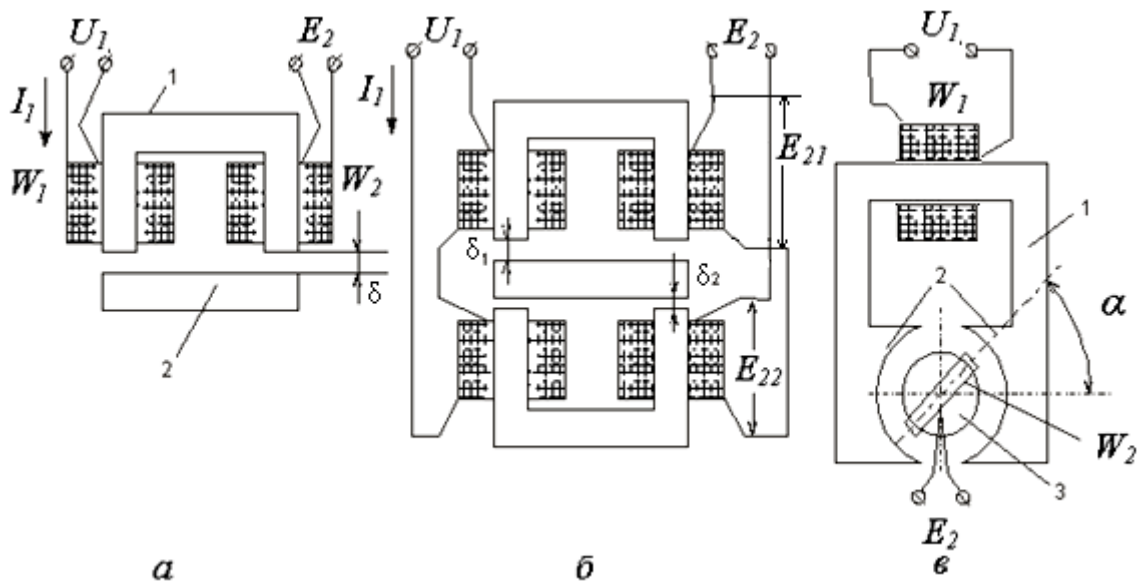


Рис. 2.16

Залежність  $E_2 = f(\delta)$  таких взаємно  $\delta$  індуктивних перетворювачів є нелінійною. Іншим недоліком даного перетворювача є залежність намагнічувального струму  $I_1$  від переміщення якоря. Якщо первинну обмотку підключити до джерела з постійною амплітудою  $U_1$ , то при зменшенні, наприклад, повітряного зазору  $\delta$ , зростає індуктивність первинної обмотки  $L_1$  і її опір  $Z_1 = j\omega L_1$ , що веде до зменшення струму  $I_1$  і вторинної ЕРС  $E_2$ .

Крім цього, на виході вимірювальної обмотки діє  $E_2$  при відсутності вхідної дії, значення якої відповідає початковому проміжку  $\delta_0$ .

Ці недоліки значно зменшені в диференціальному взаємноіндуктивному перетворювачі. (рис. 2.16,б).

У цього перетворювача первинні обмотки з'єднані послідовно і підключені до джерела змінної напруги з постійним значенням  $U_1$ , а вторинні – включені зустрічно.

При переміщенні якоря опір однієї первинної обмотки зростає, а опір іншої первинної обмотки на стільки ж зменшується. Взагалі, опір первинного ланцюга залишається без зміни, а струм  $I_1$  – постійним. Крім цього взаємно індуктивні диференціальні перетворювачі мають нульовий вихідний сигнал при відсутності вхідної дії, мають лінійну функцію перетворення і значно більшу чутливість.

Для перетворення кутових переміщень широке застосування знайшли феродинамічні трансформаторні перетворювачі (рис.2.16,в). Вони належать до перетворювачів з постійним магнітним опором і рухливою обмоткою.

Феродинамічний перетворювач складається з П-подібного магнітопроводу 1 з полюсними наконечниками 2. На магнітопроводі 1 знаходиться обмотка збудження  $W_1$ .

Між полюсними наконечниками вставляється циліндричне феромагнітне осердя 3, на якому розміщена вторинна обмотка  $W_2$ . Циліндричне осердя разом з обмоткою  $W_2$  може повертатися під дією вимірюваного кутового переміщення навколо своєї осі в радіальному магнітному полі.

Повітряний зазор між осердям і полюсними наконечниками однаковий, також однакова в повітряному зазорі і магнітна індукція. Обмотка збудження  $W_1$  включається в ланцюг змінної напруги з частотою  $\omega$  і створює магнітний потік. Частина його проходить через обмотку  $W_2$  і наводить у ній ЕРС  $E_2$ . При повороті обмотки  $W_2$  вихідна напруга  $E_2$  змінюється відповідно до виразу

$$E_2 = \frac{\omega}{\sqrt{2}} \Psi = 2 \frac{\omega}{\sqrt{2}} B \ell W_2 R_p \alpha \quad ,$$

(2.21)

де  $\Psi$  – потокозчеплення обмотки  $W_2$ ;  $B$  – амплітудне значення індукції в зазорі;  $\ell$  – активна довжина проводу обмотки  $W_2$ , пересічного полем;  $R_p$  – середній радіус обмотки  $W_2$ ;  $W_2$  – число витків обмотки;  $\alpha$  – кут повороту обмотки  $W_2$ ;  $\omega = 2\pi f$  – кутова частота напруги  $U_1$ .

Якщо  $\omega$  і  $B$  зберігаються постійними, то значення ЕРС, що наводиться в обмотці  $W_2$ , пропорційно її куту повороту;

$$E_2 = S \cdot \alpha , \quad (2.22)$$

де  $S$  – чутливість перетворювача.

Причини похибок трансформаторних перетворювачів зі змінним магнітним опором аналогічні причинам похибок індуктивних перетворювачів.

Аналогічні також методи їхнього зменшення.

При збільшенні температури змінюється магнітна проникність магнітопроводу, а також зростає активний опір магнітних обмоток. Це зменшує первинний струм  $I_1$  і вихідну напругу  $E_2$ .

### Ємнісні перетворювачі

Ємнісні перетворювачі застосовуються для перетворення лінійних і кутових переміщень, тисків, вібрацій, прискорень та ін. в електричний сигнал (в ємність конденсатора).

Ємнісний перетворювач являє собою конденсатор, ємність якого змінюється під дією контрольованого параметра. В якості ємнісного перетворювача використовують плоский конденсатор, ємність якого визначається виразом

$$C = \frac{\xi S}{\delta} , \quad (2.23)$$

де  $\xi$  – діелектрична постійна речовини, розташованої між пластинами конденсатора;  $S$  – площа пластин;  $\delta$  – відстань між пластинами.

Зміна кожного з цих параметрів  $\xi$ ,  $s$  або  $\delta$  під дією контрольованого параметра змінює ємність конденсатора.

Ємнісні перетворювачі можуть мати найрізноманітніше конструктивне виконання. Наприклад, одна з пластин конденсатора є нерухомою і механічно з'єднується з корпусом, а друга – рухомою і з'єднується з органом, переміщення якого повинно вимірюватися.

На рис. 2.17 зображено пристрої ємнісних перетворювачів і наведені графіки зміни їхньої ємності при перетворенні лінійних переміщень  $x$ .

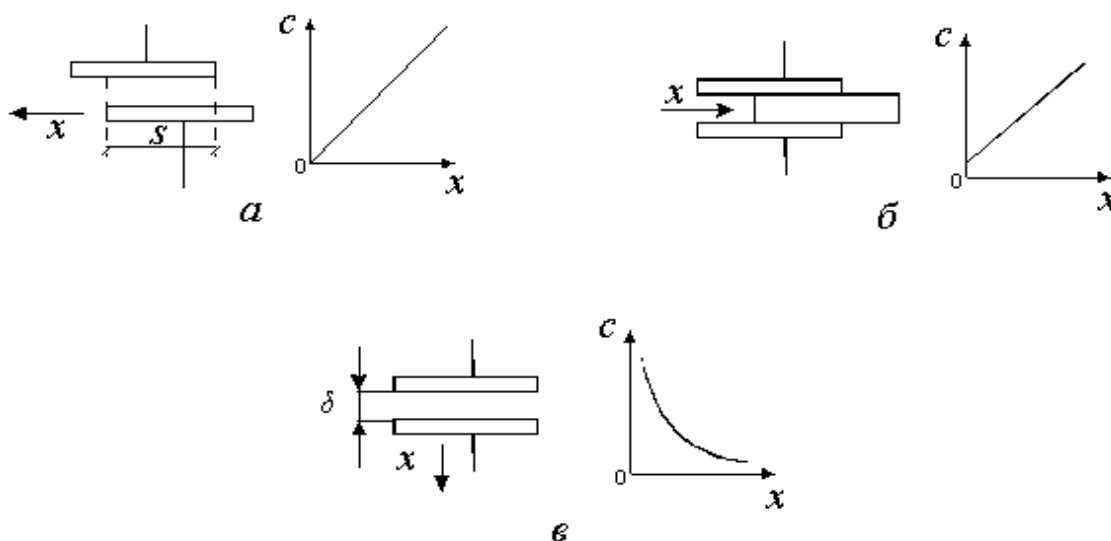


Рис. 2.17

На рис. 2.17,а зображено ємнісний перетворювач зі змінною площею перекриття пластин  $s$ , на рис. 2.17,б – зі змінною діелектричною постійною  $\xi$ , а на рис. 2.17,в – пристрій з перемінним повітряним зазором між пластинами конденсатора.

Перетворювачі зі змінною площею перекриття пластин  $s$ , мають лінійну характеристику у великому діапазоні виміру переміщення.

Ємнісні перетворювачі переміщення зі змінною площею перекриття пластин, часто використовуються для вимірювання кутових переміщень  $\varphi$  (рис. 2.18).

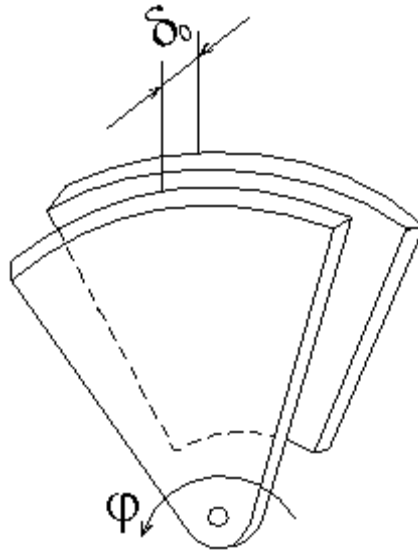


Рис. 2.18

Велику групу становлять ємнісні перетворювачі, зміна ємності яких здійснюється за рахунок зміни діелектричного постійного середовища  $\xi$  між обкладками конденсатора. Це може відбуватися при перетвореннях переміщення, деформації або зміни складу діелектрика. На цьому принципі засновані ємнісні перетворювачі рівня рідини, товщини діелектричних матеріалів, а також контролю вологості й складу речовин.

Ці перетворювачі забезпечують лінійну характеристику керування.

Ємнісні перетворювачі зі змінним повітряним зазором  $\delta$  мають нелінійну характеристику. Такі перетворювачі необхідно застосовувати при вимірюванні невеликих лінійних переміщень (до 1 мм).

До переваг ємнісних перетворювачів варто віднести велику чутливість, малі розміри і вагу, відсутність рухливих контактів.

Недоліками є великий вплив на точність перетворення паразитних ємностей і зовнішніх електричних полів, великий вплив вібрацій, температури, вологості.

Коливання температури приводить до змін значень  $\delta$  і  $\xi$ .

Запобіжними методами від впливу вологості й можливості забруднення пластин є герметизація перетворювачів.