

УДК 531.7.08

Б.І. Тарас¹, В.Т. Михалевич², В.Ю. Денисюк²¹ Національний університет водного господарства та природокористування² Луцький національний технічний університет

ПЕРЕДАЧА ІНФОРМАЦІЇ У ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАКТАХ ПЕРВИННОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ТИСКУ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Розглядається структура первинних перетворень вимірювального сигналу в системах автоматизації технологічних процесів. Використання тензорезистивних перетворювачів тиску супроводжується рядом побічних впливів, що приводять до спотворення інформації, а тому вимагають додаткових методів та засобів захисту й корекції.

Ключові слова: *перетворення, тиск, чутливий елемент, захист.*

Первинні вимірювальні перетворювачі, або датчики, є основними елементами вимірювально-інформаційних та управляючих систем від яких значною мірою залежать точність та надійність роботи систем автоматизації в цілому. Відповідно, до них висувуються підвищені як експлуатаційні так і метрологічні вимоги. В процесі проектування вимірювального тракту систем автоматизації енергетичних установок, який можна подати як послідовність вимірювальних перетворювачів (рис. 1), необхідно враховувати не тільки технічну можливість перетворення технологічного параметру у більш зручний для передачі електричний сигнал, але й вирішувати складну задачу вибору компромісного вирішення за кількістю, складом та схемами включення цих перетворювачів.

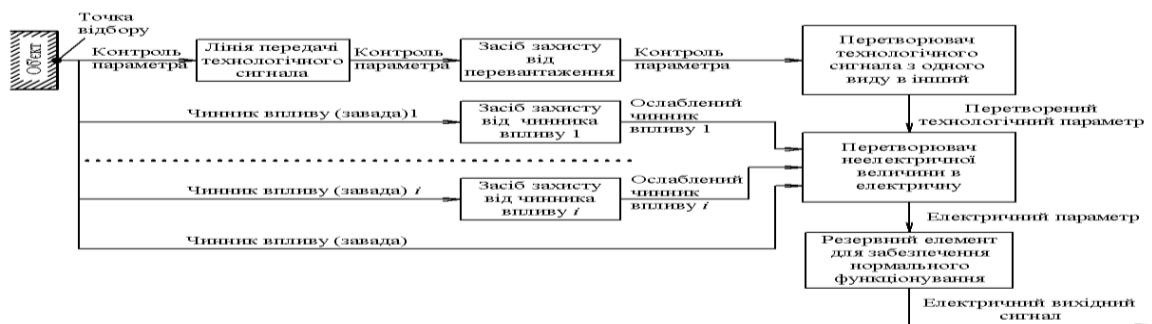


Рис. 1. Загальний вигляд вимірювального тракту датчика технологічного параметра

Аналіз практичних напрацювань у галузі вимірювання силових технологічних параметрів дозволяє розподілити всі додаткові перетворення по наступних кваліфікаційних групах:

- перетворювачі, які змінюють лінійні або кутові координати механічного сигналу, який вимірюється, без зміни його амплітуди;
- перетворювачі, які змінюють амплітуду або дисперсію механічного сигналу, який вимірюється;
- перетворювачі, які змінюють вид механічного параметра – носія інформації.

Для вимірювання зусиль, деформацій, моментів та інших фізичних величин широко використовуються різні типи тензорезистивних датчиків. Вони відрізняються межами вимірювання, конструктивним виконанням, умовами експлуатації. Але, якщо подати тензорезистивний датчик у вигляді послідовності вимірювальних перетворювачів, то виявляється, що значна частина цих перетворювачів є загальною для всіх датчиків. Кожен тензорезисторний датчик включає в себе такі вимірювальні перетворювачі, як терморезистор і вимірювальна схема. У конструкції багатьох тензорезисторних датчиків використовуються пружні елементи, що перетворюють зусилля або тиск у деформацію.

На рис. 2 подана схема тензорезисторного датчика зусиль. Вимірювальне зусилля F з

допомогою пружного елемента перетворюється у деформацію Δl . Деформація пружного елемента сприймається тензорезистором і перетворюється у зміну опору тензорезистора Δr , яке у вимірвальній схемі перетворюється у величину вихідної напруги.

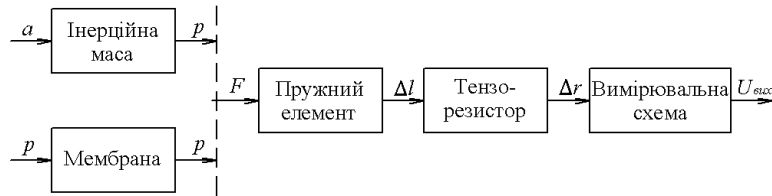


Рис. 2. Структурна схема тензорезистивного датчика зусиль

Під час вимірювання тиску рідини або газу виникає специфічна задача неспотвореної передачі цього параметра до входу перетворювача тиску в іншу механічну або електричну величину без порушення умов функціонування самого об'єкта контролю. Відповідно, до під'єднувальних елементів вхідного кола датчиків тиску висуваються як вимоги точності функції перетворення, так і вимоги герметичності та механічної міцності.

Коефіцієнт перетворення трубопроводу енергоустановки в умовах статичних тисків постійний і рівний 1. Але на практиці тиск на об'єктах контролю ніколи не буває чисто статичним. Динамічні його характеристики визначаються як геометричними параметрами, так і складом середовища у трубопроводі, і тому можуть вносити суттєві спотворення в механічний сигнал в процесі передачі тиску від об'єкта контролю до перетворювача тиску.

Метрологічні характеристики трубопроводу як ланки по передачі сигналу у вигляді механічного тиску на задану відстань для орієнтовних розрахунків можна вважати однозначно заданим через параметр ω_0 – власну частоту коливань середовища у цьому трубопроводі.

Для визначення власної частоти коливань трубопроводу необхідно враховувати форму каналу, що з'єднує датчик з об'єктом. Практично достатньо обмежитись аналізом двох варіантів виконання цього каналу:

- 1) трубопроводу постійного перерізу з заглушкою на кінці (рис. 3, а);
- 2) трубопроводу, з'єданого з внутрішньою порожниною датчика певного об'єму (рис. 3, б).

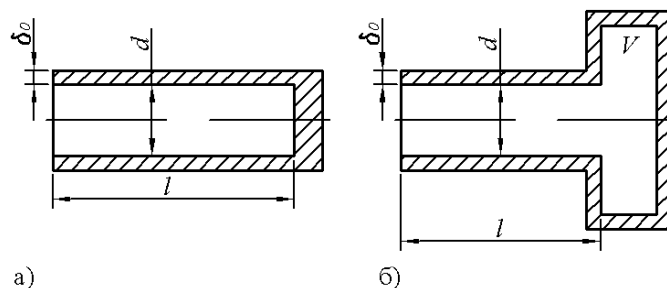


Рис.3. Варіанти виконання трубопроводу, який з'єднує датчик з об'єктом

Для заповненого рідиною трубопроводу з порожниною на кінці, з врахуванням податливості його стінок, але нехтуючи кінцевим значенням жорсткості перетворювача тиску в інший фізичний параметр, що використовується для передачі інформації, власну частоту можна визначити за формулою:

$$f_{0p} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{2}{\pi} \rho l s \left(\frac{2}{\pi} \frac{l}{Ks} + \frac{V}{E_0 s^2} \right)}}, \quad (1)$$

де f_{0p} – власна частота каналу з порожниною та рідинним заповненням; ρ – густина рідини;

$s = \pi d^2 / 4$ – площа поперечного перерізу каналу; d – внутрішній діаметр каналу; l – довжина каналу; V – об’єм внутрішньої порожнини датчика; $K = \frac{E_0}{1 + (E_0 d / E \delta_0)}$ – приведений модуль

пружності рідини та з’єднувального трубопроводу; E_0 – модуль пружності рідини; E – модуль пружності матеріалу стінок трубопроводу; δ_0 – товщина каналу стінок трубопроводу.

Для трубопроводу постійного перерізу, якщо $V = 0$, формула для розрахунку власної частоти прийме вигляд

$$f_{0p}^* = \frac{\sqrt{K/\rho}}{4l}, \quad (2)$$

де f_{0p}^* – власна частота каналу постійного перерізу з рідинним заповненням, Гц.

Якщо знехтувати податливістю стінок трубопроводу, то у формулах (1) і (2) приведений модуль пружності рідини й з’єднувального трубопроводу K повинен бути замінений на модуль пружності рідини E_0 .

Наведені формули можуть бути використані і для розрахунку каналів з газовим заповненням. Але зважаючи на ту обставину, що для більшості газових середовищ у довідниковій літературі приводяться дані про величину швидкості звуку в певному температурному діапазоні та діапазоні робочих тисків, у деяких випадках зручніше використати наближені формули, що зв’язують власну частоту каналу зі швидкістю поширення у ньому акустичних коливань у допущенні, що стінки каналу мають безконечно великий модуль пружності у порівнянні з модулем пружності газу:

$$f_{0z} = \frac{C}{2\pi \sqrt{\frac{2}{\pi} l \cdot \left(\frac{2}{\pi} l + \frac{V}{s} \right)}}, \quad (3)$$

де f_{0z} – власна частота каналу з порожниною та газовим заповненням; C – швидкість звуку у газовому середовищі.

Для каналу з постійним перерізом

$$f_{0z}^* = C/4l. \quad (4)$$

Так як трубопроводи, як об’єкт вимірювання з датчиком тиску, як правило, є тупиковими ділянками, то можливий такий варіант, коли рідинне заповнення каналу створить ситуацію, що ділянка, яка примикає до датчика, буде заповнена повітрям, що залишилось у трубопроводі або виділилось з рідини (рис. 4).

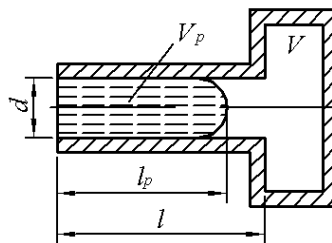


Рис. 4. Варіант рідинного заповнення замкнутого трубопроводу

У цих випадках податливість системи визначається в основному пружністю газової “подушки”, а маса – масою наявної в ній рідини, що приводить до різкого зниження власної частоти каналу. Тут доцільно розглядати отриману систему, як систему з зосередженою масою та жорсткістю. Відповідно частота коливань може бути визначена за формулою

$$f_{0c} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{P}{l_p \rho \left(\frac{V}{s} + l - l_p \right)}}, \quad (5)$$

де f_{0c} – власна частота каналу з порожниною та змішаним заповненням; P – середній тиск у трубопроводі; l_p – довжина ділянки трубопроводу, заповненої рідиною.

Розглянуті циліндричні чутливі елементи з тензорезисторами (рис. 5) знаходять практичне застосування для вимірювання відносно високих тисків – 5–10 МПа і вище, що відповідає першому варіанту виконання трубопроводу, показаному на рис.3, а.

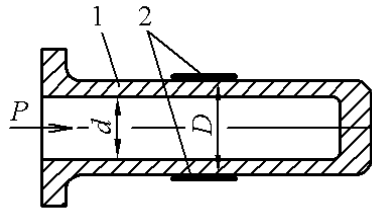


Рис. 5. Схема чутливого елемента з використанням тензорезисторів: 1 – чутливий елемент; 2 – тензорезистори

Коефіцієнт перетворення K_{nm} для такого типу чутливих елементів перетворювачів тиску буде становити:

- у випадку наклеювання тензорезисторів поперек твірної

$$K_{nm} = 10^{-3} \frac{(2-\mu)}{10E} \left(\frac{d^2}{D^2-d^2} \right), \quad (6)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона; E – модуль пружності; d , D – розміри чутливого елемента (з рис.5).

- у випадку наклеювання тензорезисторів вздовж твірної

$$K_{nm} = 10^{-3} \frac{(1-2\mu)}{10E} \left(\frac{d^2}{D^2-d^2} \right). \quad (7)$$

На рис. 6 показана конструкція тензорезистивного перетворювача для вимірювання тиску в діапазоні 0 – 1 МПа. Чутливим елементом тут служить плоска мембрана, а схема виконання чутливого елемента – другому варіанту виконання трубопроводу, показаному на рис. 3, б.

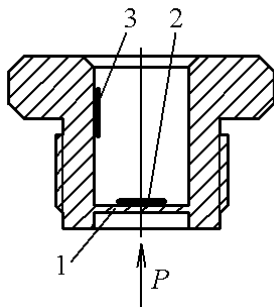


Рис. 6. Конструкція мембранного тензорезистивного перетворювача: 1 – чутливий елемент; 2 – активні тензорезистори; 3 – компенсаційні тензорезистори

Коефіцієнт перетворення K_{nm} для мембранних чутливих елементів перетворювачів тиску буде становити:

$$K_{nm} = \frac{3 \cdot 10^{-9} (1-\mu^2) \cdot R^4}{16Eh^3}, \quad (8)$$

де R – радіус мембрани; h – товщина мембрани; решта позначень з (6).

Отже, забезпечення передачі неспотвореної інформації у системах контролю тиску рідин і газів вимагає дотримання наступних умов:

- зміна об'єму внутрішньої порожнини об'єкта контролю повинна бути мінімальною;
- під'єднувальні елементи не повинні суттєво міняти аеродинамічні або гідродинамічні характеристики порожнини об'єкта, особливо, якщо у ньому проходить переміщення маси рідини або газу;
- з'єднання датчика з об'єктом повинне бути герметичним і не повинне руйнуватись в моменти перевантажень.

Аналіз сумарної похибки датчиків показує, що складові дисперсії результатів вимірювання можуть бути подані у вигляді добутку двох співмножників $(\partial k / \partial x_i)^2 D x_i$. Перший співмножник визначає чутливість датчика до чинника впливу, а другий характеризує дисперсію чинника впливу. Характер приведенного співвідношення безпосередньо визначає два принципово різних напрямки мінімізації похибки. Зменшення похибки вимірювання можна досягнути або шляхом зменшення чутливості датчика до чинника впливу, або шляхом зменшення потужності дії самого чинника впливу на чутливу частину датчика. Перший шлях реалізується, як правило, схемним вирішенням, другий – конструктивним.

На першому етапі вибирається метод вимірювання, розробляється вимірювальна схема, в яку вводяться спеціальні компенсуючі елементи, вибирається раціональне співвідношення елементів схеми. В схемах автоматизації технологічних процесів досить ефективним може бути введення відповідних змін у структуру алгоритму управління.

Шлях конструктивного зменшення похибок вимірювального тракту зводиться до створення пристроїв, які б захищали від дії чинника впливу. Принципово ця задача за способом отримання енергії, необхідної для протидії заваді, може вирішуватись двома шляхами:

- протидія чиннику впливу без споживання додаткової енергії від джерела живлення – пасивний захист;
- протидія чиннику впливу із залученням додаткової енергії – активний захист.

Але найбільш дієвим методом захисту вимірювального тракту є комбінований захист з використанням пасивних та активних методів.

1. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств: Учебник для вузов по специальности «Автоматизация и комплексная механизация химико-технологических процессов». – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 424 с.
2. Осипович Л.А. Датчики физических величин – М.: Машиностроение, 1979. – 159 с.
3. Проектирование датчиков для измерения механических величин / Под ред. Е.П.Осадчего. – М.: Машиностроение, 1979. – 480 с.
4. Тензометрия в машиностроении. Справочное пособие. Под ред. канд. техн. наук Р.А.Макарова. М., "Машиностроение", 1975. – 288 с.