

УДК 623.004.67

Г.А. Шеїн, А.М. Науменко

Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

## ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ОДНОМІРНИХ БАГАТОСТУПІНЧАСТИХ СЕНСОРІВ

*Аналізуються методи побудови одномірних багатоступінчастих датчиків на сучасному етапі розвитку автоматизованих систем управління та їх метрологічні характеристики.*

**Ключові слова:** датчик, чутливий елемент, сенсор, перетворювач, генератор.

### Вступ

**Постановка задачі.** Стрімкий розвиток електроніки й обчислювальної техніки виявився передумовою для широкої автоматизації найрізноманітніших процесів у промисловості, у наукових дослідженнях, у побуті. Необхідність перетворення вимірюваної неелектричної величини в адекватний їй електричний сигнал стала пізніше підставою для введення терміна "вимірювальний перетворювач", рекомендованого державною системою забезпечення єдності вимірювань замість терміна "датчик". Потреба в датчиках стрімко росте у зв'язку з швидким розвитком автоматизованих систем контролю і управління, упровадженням нових технологічних процесів, переходом до гнучких автоматизованих виробництв. Крім високих метрологічних характеристик датчики повинні володіти високою надійністю, довговічністю, стабільністю, малими габаритами, масою і енергоспоживанням, сумісністю з мікроелектронними пристроями обробки інформації при низькій трудомісткості виготовлення і невеликій вартості. Цим вимогам в максимальному ступені задовольняють одномірні багатоступінчасті датчики.

**Аналіз літератури.** У відомій літературі [1 – 3] розглядаються датчики, які є елементом технічних систем, що призначені для вимірювання, сигналізації, регулювання, управління пристроями або процесами. Але в ній не розглядаються питання, що пов'язані з устроєм багатоступінчастих датчиків, а також питання впливу характеристик цих датчиків на їх функцію перетворення.

**Мета статті.** Провести аналіз основних властивостей одномірних багатоступінчастих сенсорів. Надати метрологічні характеристики одномірних багатоступінчастих сенсорів.

### Основний матеріал

Датчики перетворюють контрольовану величину (тиск, температуру, витрату, концентрацію, частоту, швидкість, переміщення, напругу, електричний струм і т. п.) в сигнал (електричний, оптичний, пневматичний), зручний для вимірювання, передачі, перетворення, зберігання та реєстрації інформації

про стан об'єкту вимірів. Отже, датчик – це вимірювальний перетворювач, що сприймає вхідну величину й формуючий еквівалентний їй в інформаційному змісті вимірювальний сигнал. Датчик – відосблена, часто винесена до об'єкта дослідження конструкція, вилучена від іншої вимірювальної апаратури. Датчик – компактний, конструктивно оформлений окремо елемент. Помітимо, що термін "сенсор" акцентує увагу на сприйнятті вхідної величини, а термін "датчик" – на формуванні й видачі вимірювального сигналу. Під сенсором розуміється первинний вимірювальний перетворювач, що сприймає вхідну величину й формуючий вимірювальний сигнал.

Класифікація датчиків. По виду вхідних величин: активні; пасивні. По кількості вхідних величин: одномірні ( $n = 1$ ); багатомірні ( $n = 2, 3 \dots n$ ). По кількості вимірювальних функцій: однофункціональні ( $m = 1$ ); багатфункціональні ( $m = 2, 3 \dots m$ ). По кількості перетворень енергії й речовини: одноступінчасті ( $l = 1$ ); багатоступінчасті ( $l = 2, 3 \dots l$ ). По наявності компенсаційного зворотного зв'язку: компенсаційні; некомпенсаційні. По виду модуляції вихідного сигналу: амплітудні; частотні й фазові; безперервні; імпульсні. За технологією виготовлення: елементні; інтегральні. По сприйняттю просторових величин: точкові; просторові. По взаємодії із джерелами інформації: контактні; безконтактні (дистанційної дії). По виду вимірювальних сигналів: аналогові; цифрові. До основних метрологічних характеристик відносяться:

1) похибка сприйняття й перетворення (бажане знати випадкову, систематичну, статичну, динамічну складові й закон розподілу ймовірностей);

2) характеристика (функція) перетворення датчика, що представляє зв'язок вхідної з вихідний величинами і її лінійність;

3) діапазон сприйняття й перетворення вхідної величини;

4) чутливість;

5) частотні й динамічні характеристики (перехідна, амплітудно-фазова, амплітудно-частотна характеристики; час реакції; постійна часу й ін.).

У техніці вимірювань широко застосовуються багатоступінчасті датчики, тобто датчики, принцип дії

яких засновано на використанні декількох фізичних ефектів. Розглянемо варіанти побудови деяких одномірних багаступінчатих датчиків та їх принципи дії: двоступінчастий ємнісний датчик тиску, двоступінчастий датчик оптичного випромінювання, чотириступінчастий датчик вологості повітря.

На рис. 1 показаний фрагмент конструкції високочутливого ємнісного датчика тиску, призначеного для роботи в області низьких температур. Принцип дії датчика наступний.

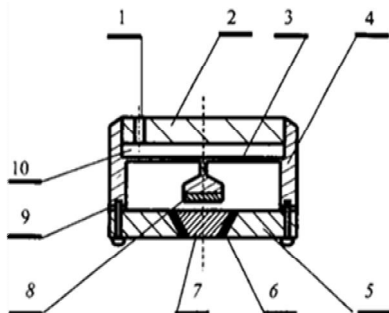


Рис. 1. Двоступінчастий ємнісний датчик тиску: 1 – капіляр у пробці; 2,3 – мембрана корпусу; 4,5 – основа; 6 – ізолююча плівка, 7 – конус (обкладка конденсатора); 8 – пластина (обкладка конденсатора); 9 – прокладка; 10 – підмембранна камера

Вимірюваний тиск через капіляр 1 подається в підмембранну порожнину 10. Корпус 4 і мембрана 3 виготовлені з берилієвої бронзи. До виступу мембрани через ізолюючу прокладку прикріплена рухлива пластина 8 ємнісного перетворювача. Нерухлива пластина 7 втискається в підставу 5 у вигляді конусної пробки, яка обгорнута ізолюючою плівкою 6. Таким чином, обидві пластини ємнісного перетворювача ізолювані від корпусу. Сполучені площини корпусу й підстави обробляються разом з електродами ємнісного перетворювача після закріплення електродів на корпусі й у підставі.

Завдяки такій обробці й ізолюючій прокладці 9 устанавлюється зазор між електродами ємнісного перетворювача близько 15...20 мкм. Ємність виготовленого перетворювача дорівнює 30 пФ. Поріг чутливості склав 10 – 14 м.

При вимірюванні оптичного випромінювання використовуються термоелементи, одна з конструкцій яких показана на рис. 2. Принцип дії таких багаступінчатих датчиків заснований на перетворенні енергії оптичного випромінювання в теплову енергію.

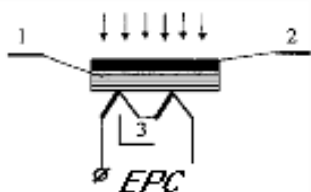


Рис. 2. Двоступінчастий датчик оптичного випромінювання: 1 – металевий диск; 2 – шар чорні; 3 – диференціальна термопара

У багаступінчатих датчиках є можливість введення в конструкцію елементів компенсації (корекції) його похибки. На рис. 3 показана конструкція триступінчастого датчика тиску, у якому компенсація його додаткових погрішностей проводиться за допомогою процедури порівняння вхідної величини із мірою.

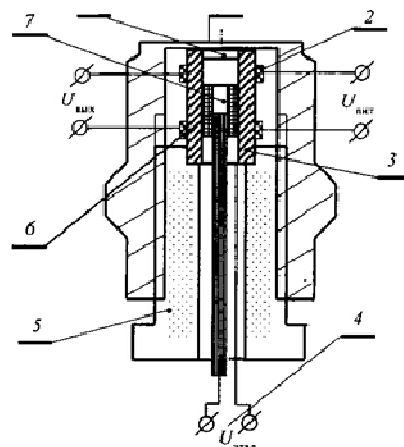


Рис. 3. Триступінчастий датчик тиску: 1 – мембрана; 2 – тензорезистивний міст; 3 – пружний чутливий циліндричний елемент; 4 – електроди; 5 – вузол стискання; 6 – вузол створення примусових еталонних деформацій; 7 – п'єзоелемент; 8 – силопередаючий елемент

Датчик працює таким способом. Вимірюваний тиск через мембрану 1 і силопередаючий елемент 8 викликає деформацію чутливого елемента, а отже, опір тензорезисторів моста 2. З іншого боку, на електроди 4 вузла примусових еталонних деформацій 6, що полягає з п'єзоелемента 7, поміщеного усередину чутливого елемента 3, подається відома еталонна електрична напруга  $U_{етал.}$ , що викликає деформацію чутливого елемента 3 (зворотний п'єзоэффект). Тому що п'єзоелемент жорстко пов'язаний із пружним чутливим елементом 3, ця деформація викликає відповідну деформацію чутливого елемента й зміну опорів тензорезистивного моста 2.

Наприклад, представимо, що за умовами вимірювального завдання необхідно виміряти температуру в області низьких температур від 70 до 273 К з максимально можливою точністю. При використанні одноступінчастого датчика – термопари (ефект Зеебека) у заданому діапазоні забезпечується похибка порядку 0,5...1 % [3]. У випадку вибору термоперетворювача, заснованого на ядерному квадрупольному резонансі (ЯКР), досягається більш висока точність у заданому діапазоні виміру.

Принцип дії цієї вимірювальної установки заснований на двох фізичних явищах: прецесії атомних ядер, що володіють квадрупольним моментом, і явищі резонансного поглинання випромінювання речовиною. При цьому використовується залежність частоти поглинання високочастотних коливань у деяких речовинах від температури (рис. 4).

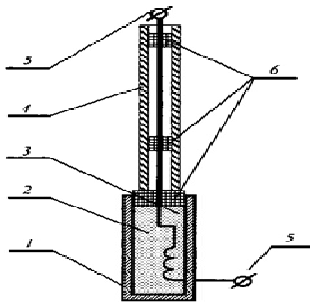


Рис. 4. Двоступінчастий датчик температури:

- 1 – циліндр; 2 – котушка індуктивності;  
3 – сіль (KClO<sub>3</sub>); 4 – трубка; 5 – електричний вивід котушки 2; 6 – ізоляційні втулки

Датчик температури складається із циліндра 1, у якому розміщена котушка індуктивності 2 генератора високочастотних коливань, оточена термочутливою сіллю 3. Порожнина датчика вакуумується й заповнюється інертним газом (гелієм). За допомогою вимірювальної установки котушка індуктивності підключається до високочастотного LC-генератора й проводиться автоматичний пошук і налаштування на частоту ЯКР. Установки, у яких використовується ЯКР тих самих ядер у зразках ідентичного складу, мають однакову й стабільну залежність частоти ЯКР від температури.

Слід помітити, що й при послідовній комбінації фізичних ефектів у багаступінчастих датчиках у ряді випадків вдається досягти прийнятих метрологічних характеристик датчиків конкретних величин. Завдання знаходження таких комбінацій ставиться до оптимізаційних завдань. Як приклад, на рис. 5 схематично наведена структура конструкції триступінчастого датчика наднизьких температур.

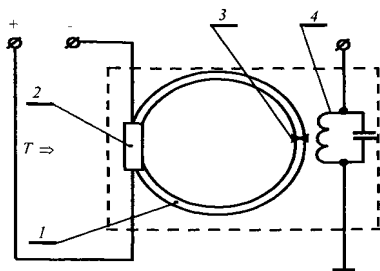


Рис. 5. Триступінчастий датчик температури:

- 1 – надпровідне кільце; 2 – резистивна ділянка;  
3 – перехід Джозефсона; 4 – LC- контур

На закінчення доречно помітити, що при вимірі багатьох фізичних величин, таких як тиск, вологість газів, концентрація різних речовин, широко використовуються двох-, трьох- ступінчасті датчики (через відсутність відповідних одиничних фізичних ефектів) для реалізації принципу дії відповідного одноступінчастого датчика, з необхідними метрологічними характеристиками.

## Висновки

1. Результати проведених досліджень дозволяють визначити, що автоматизовані системи із застосуванням багаступінчастих сенсорів значно підвищують оперативність і достовірність перетворення неелектричних величин у електричні.

2. Удосконалення напівпровідникової технології дозволило також розширити сфери застосування датчиків і до того ж підвищити їхню точність, швидкість, надійність, довговічність, зручність сполучення з електронними вимірювальними схемами. Масовий характер виробництва датчиків сприяє зниженню їх ціни, що також є немаловажним чинником, що визначає їхнє впровадження у практику.

3. Багаступінчасті датчики в більшості випадків не уступають за своїми метрологічними характеристиками одноступінчастим датчикам.

4. На якісні властивості датчика, як засобу вимірювання, впливають ефективність і обґрунтованість вибору фізичного явища при реалізації датчика конкретної величини, а також ступінь частоти матеріалу чутливого елемента й наявність у нього необхідних властивостей.

## Список літератури

1. Алейников А.Ф. Багатофункціональні датчики А.Ф. Алейников, М.П. Цапенко // *Виміри, контроль, автоматизація*. – 1990. – № 2 (74). – С. 50-57.
2. Датчики вимірювальних систем: В 2 кн. Кн.1: Пер. с. франц. / Ж. Аш, П. Андре, Ж. Бофрон і ін. – М.: Мир, 1992. – 480 с.
3. *Вимір електричних і неелектричних величин* / М.М. Євтіхєв та ін. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 210 с.

Надійшла до редколегії 19.12.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОДНОМЕРНЫХ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ СЕНСОРОВ

А.А. Шейн, А.Н. Науменко

*Анализируются методы построения одномерных многоступенчатых датчиков на современном этапе развития автоматизированных систем управления и их метрологические характеристики.*

**Ключевые слова:** датчик, чувствительный элемент, преобразователь, генератор.

## PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF ONE-DIMENSIONAL MULTI-STAGE SENSORS

H.A. Shein, A.N. Naumenko

*Analyzed by constructing multi-dimensional sensors at the present stage of development of automated control systems. and their metrological characteristics.*

**Keywords:** sensor, sensitive element, transducers, generator.