



УДК 528.563

**ANALYSIS OF EXISTING DESIGN SOLUTIONS FOR MEASURING
VECTOR QUANTITIES
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ
ВЕКТОРНИХ ВЕЛИЧИН**

Zayets S.S. / Заєць С.С.*as. / асистент.*

ORCID: 0000-0002-9954-1434

Nazarenko N.M. / Назаренко Н.М.*k.t.s., as. / к.т.н., асистент.*

ORCID: 0000-0001-6533-7323

Kyrychuk Yu.V. / Киричук Ю.В.*d.t.s., as.prof. / д.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-8638-6060

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",**Kyiv, 37, Prosp. Peremohy, 03056**Національний технічний університет України**"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",**Київ, пр. Перемоги, 37, 03056*

Анотація. В роботі проведено аналіз існуючих конструктивних рішень для вимірювання векторних величин, наведені їх переваги та недоліки. Наведено схеми одно-, дво-, трьохкомпонентних вимірювачів векторних величин.

Ключові слова: вимірювання векторних величин, трьохкомпонентний, багатоконпонентний, перетворювач механічних величин, акселерометр.

Вступ.

Необхідність визначення крім величини вектору також і його напрямку суттєво ускладнює задачу вимірювання. Ця вимога в основному визначає особливості роботи відповідних вимірювальних засобів, способи їх дослідження та методи градування. Такі спеціалізовані вимірювальні засоби з теоретичної точки зору утворюють особливий клас засобів вимірювання – векторні вимірювальні пристрої. Внутрішня єдність цих пристроїв обумовлена специфікою задачі вимірювання і проявляється у введенні таких загальних понять, які не зустрічаються в теорії вимірювання скалярних величин, як направлені властивості засобів вимірювання, його діаграма направленості та його вимірювальна вісь.

Направлені властивості засобів вимірювання характеризують функціональний зв'язок значень його вихідного сигналу з взаємною орієнтацією засобу вимірювання і його векторної вхідної величини. Геометричним зображенням направлених властивостей засобу вимірювання є діаграма направленості. Вона будується в полярній (площинний випадок) або сферичній (просторовий випадок) системі координат, ця діаграма являє собою залежність вихідного сигналу засобу вимірювання від орієнтації відносно корпусу цього засобу вхідної векторної величини незмінного модуля. Для ідеально спроектованого векторного вимірювального перетворювача діаграма направленості представляє собою коло або сферу, що проходить через початок



координат. При цьому діаметр цієї фігури, проведений через початок координат, є вимірювальною віссю даного засобу. Таким чином, вимірювальною віссю векторного перетворювача називається деякий заданий відносно його корпусу напрямок, проекцію вхідної векторної величини на якій і вимірює однокомпонентний вимірювальний перетворювач.

Внаслідок широкого застосування саме акселерометри – векторні вимірювальні перетворювачі механічного прискорення – є найбільш поширеним видом векторних вимірювальних пристроїв. Тому надалі аналіз цього класу вимірювальних пристроїв ілюструється на прикладі акселерометрів, що не впливає на узагальнення отриманих результатів

Основний текст.

В роботах [1, 2] показана можливість до певної міри компенсувати нестачу літератури по цьому питанню. В ній проводяться дослідження шестикомпонентного компенсаційного перетворювача механічних величин, які включають в себе синтез електромеханічного зворотного зв'язку та моделювання динаміки активного векторного перетворювача, дослідження пружно-деформованого та термодформованого стану чутливого елемента векторного перетворювача, дослідження ефективності використання векторного перетворювача у системах інерційної навігації, а також розробку мікропроцесорних систем керування векторних перетворювачів.

Незважаючи на наявність деякого числа робіт, до цього часу подібні шестикоординатні вимірювальні пристрої, як з використанням надпровідного підвісу, так і в звичайному виконанні ні в нашій державі, ні за кордоном поки що не освоєні. Це пояснюється недостатнім теоретичним дослідженням даного класу перетворювачів механічних величин, відсутністю систематизованих методик їхнього проектування, а також всебічної технічної проробки конструктивних схем.

Єдиної і загальноприйнятої класифікації акселерометрів в наш час не існує. Часто акселерометри поділяють за:

- конструктивною ознакою (характер переміщення, спосіб підвісу чутливого елемента, тип датчика переміщення тощо);
- за характером вихідного сигналу (неперервний чи дискретний);
- за зв'язком вихідного сигналу з вимірювальним пристроєм (проті інтегровані);
- за послідовністю перетворення корисного сигналу (акселерометри прямого перетворення і компенсаційні акселерометри) тощо.

При цьому акселерометри, об'єднані за якою - не будь однією ознакою, за іншими ознаками можуть відноситись до різних класів, мати різні структурні схеми та основні похибки, описуватись рівняннями різного виду [3].

Можна запропонувати наступне ранжування класифікаційних ознак акселерометрів динамічного типу:

1. Число вимірювальних компонент вектора прискорення. За цією ознакою акселерометри поділяються на одно-, дво-, трьохкомпонентні.

2. Вид вихідного сигналу: електричний – неелектричний, неперервний – дискретний.



3. Зв'язок вихідного сигналу U з вимірювальним прискоренням W .

$$U \sim W; U \sim \int \omega dt; U \sim \iint \omega dt^2.$$

4. Характер перетворювання корисного сигналу, який визначає основну похибку, за цією ознакою акселерометри поділяються на акселерометри прямого перетворення та компенсаційні.

5. Характер переміщення чутливого елемента: осьові та маятникові акселерометри. В перших переміщення чутливого елемента прямолінійне, в других – здійснюється по колу.

В прикладній акселерометрії домінуюче значення має інерційний метод вимірювання прискорення. В основі принципу дії акселерометра динамічного типу лежить послідовне перетворення сили інерції його чутливого елемента, яка виникає під час прискореного руху корпусу, у вихідний сигнал пристрою. Сила інерції чутливого елемента викликає його зміщення відносно корпусу акселерометра і перерозподіл сил реакції в підвісі цього елемента.

У найпростішому випадку акселерометр являє собою деяку масу, що називається чутливим елементом (ЧЕ) акселерометра, переміщення якої відносно корпусу акселерометра обмежене направляючими і силами реакції пружного підвісу ЧЕ. Про значення вимірювального прискорення судять по величині сил реакції підвісу ЧЕ, яка визначається, наприклад, по деформації підвісу або по переміщенню ЧЕ відносно корпусу акселерометра. В реальних конструкціях підвіс чутливого елемента може бути здійснений силами різної фізичної природи: підвіс на пружних механічних пружинах, мембранах і струнах, аеродинамічний або гідравлічний підвіс, підвіс в електричних та магнітних силових полях тощо. Відносне переміщення ЧЕ може реєструватися різними датчиками переміщення: ємкісними, індукційними, реостатними, фотоелектричними тощо. Саме ж переміщення може бути прямолінійним або здійснюватись по дузі кола. В більшості конструкцій сила інерції ЧЕ безпосередньо перетворюється в електричний вихідний сигнал, минаючи проміжне перетворення в зміщення ЧЕ відносно корпусу приладу. Таке безпосереднє перетворення механічної сили в електричний сигнал здійснюється на основі тензометрів, п'єзоелектричного ефекту, явищ магнітострикції тощо.

Всі такі пристрої, в яких перетворення корисного сигналу проходить послідовно від входу до виходу приладу, називаються пристроями прямого перетворення. Якщо ж в пристрої здійснюється від'ємний зворотній зв'язок по корисному сигналу, який охоплює одне або декілька проміжних перетворень, то такий пристрій називається акселерометром компенсаційного типу. В охопленому глибоким від'ємним зв'язком колі перетворень похибка визначається майже виключно похибкою зворотного перетворювача, який здійснює цей зв'язок. Компенсаційні акселерометри мають значно кращі характеристики порівняно з акселерометрами прямого перетворення. Найбільш розповсюдженим видом вихідного сигналу акселерометрів є величина або частота електричної напруги.

Велика увага приділяється розробці акселерометрів з частотним виходом. Це пов'язано з тим, що частота відноситься до числа найбільш точно



вимірювальних величин, і дискретний вихід таких пристроїв дозволяє легко вводити дані в бортові управляючі цифрові машини. На рис. 1 представлені схеми акселерометрів з різними ЧЕ.

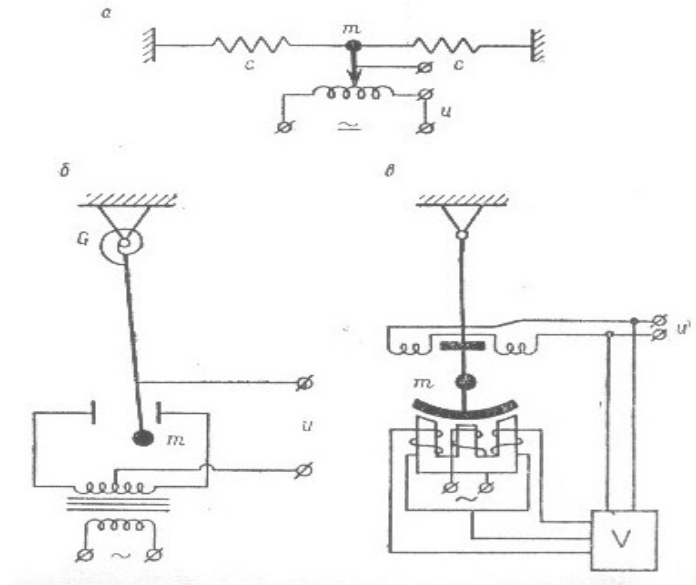


Рисунок 1 - Схеми акселерометрів:

- a* – осьового з реостатним перетворювачем переміщення ЧЕ;
- б* – маятникового з ємкісним перетворювачем переміщення ЧЕ;
- в* – маятникового компенсаційного з трансформаторним перетворювачем переміщення ЧЕ

Джерело: [3]

Однокомпонентними векторними вимірювальними перетворювачами називаються пристрої для вимірювання проекції векторної фізичної величини на деякий відомий відносно корпусу цього пристрою напрямок – його вимірювальну вісь. Прикладом однокомпонентного векторного перетворювача є одноосний струнний акселерометр (рис. 2) [3].

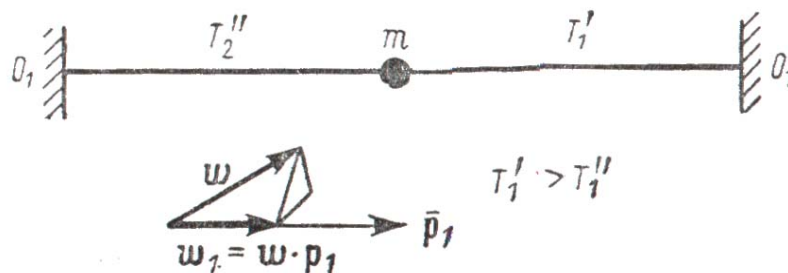


Рисунок 2 - Схема однокомпонентного струнного акселерометра

Джерело: [3]

Принцип його дії полягає в тому, що натяг струни O_1O_1 визначає власну частоту його коливань. При дії прискорення $\omega = a$ виникаюча сила інерції маси m змінює натяг T_1' і T_1'' , внаслідок цього частоти коливань струн $1'$ і $1''$ розходяться і різниця цих частот не дорівнює нулю. Це значить, що вимірювальною віссю є пряма O_1O_1 . Під дією перпендикулярної до прямої O_1O_1



складової вимірювального прискорення натяги струн змінюються однаково і різниця частот залишається рівною нулю.

Двохкомпонентний векторний перетворювач дозволяє одночасно вимірювати проекції вхідного вектора на два відомих відносно його корпусу напрямки – дві його вимірювальні вісі. Прикладом такого приладу є двохосний струнний акселерометр (рис. 3) [4].

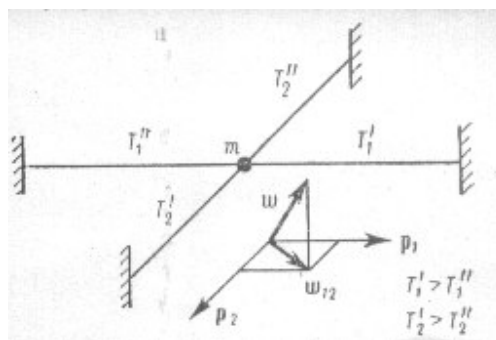


Рисунок 3 - Схема двохкомпонентного струнного акселерометра

Джерело: [4]

Такий акселерометр можна розглядати, як конструктивне поєднання в одному приладі двох одноосних струнних акселерометрів, кожен з яких незалежно працює по вище наведеній схемі. Вимірювальними осями такого двохкомпонентного перетворювача є пари струн 1-1 і 2-2. Їх напрямлення у просторі характеризують одиничні вектори вимірювальних осей p_1 і p_2 . Знаходження вхідного вектора таким двохкомпонентним перетворювачем здійснюється з точністю до складових, перпендикулярних до площини, утвореною векторами p_1 і p_2 . Тому кожній парі значень вихідних сигналів u_1 і u_2 відповідає деяка множина векторів (рис. 3.).

За допомогою трьохкомпонентного векторного перетворювача, можна знайти одночасно три ортогональні проекції вхідного вектора a на три напрямки відносно свого корпусу – орти вимірювальних осей P_1, P_2, P_3 [3].

Багатокомпонентні перетворювачі механічних величин. Аналіз технічної літератури і проведений патентний пошук показали, що є багато різних конструктивних варіантів приладів для вимірювання параметрів лінійного прискорення по одній чи по трьох координатах. Для вимірювання однієї компоненти шуканої просторової величини на сьогодні розроблена велика кількість різноманітних перетворювачів, які використовують фактично всі відомі фізичні явища [1, 4, 5]. З метою отримання інформації про напрямок вимірюваної величини, а не лише про її проекцію на певну вісь, як правило зараз сумісно використовують кілька однокомпонентних перетворювачів. Тому часто там, де потрібно вимірювати 6-ть координат (трьох лінійних і трьох кутових прискорень), використовують одноканальні інерційні прилади, в даному випадку – акселерометри [5]. Однак використання однокомпонентних приладів не вирішує поставлену проблему. Такий принцип побудови вимірювальних систем має недоліки:

– громіздкі алгоритми обробки інформації;



- виникнення додаткових похибок вимірювання внаслідок неідентичності метрологічних характеристик окремих перетворювачів;
- на точність вимірювання впливає деформація корпусу, у якому розміщені перетворювачі під дією зміни температури, зовнішніх збурень, тощо.

Висновки.

Незважаючи на наявність деякого числа робіт, до цього часу подібні шестикоординатні вимірювальні пристрої, як з використанням надпровідного підвісу, так і в звичайному виконанні ні в нашій державі, ні за кордоном поки що не освоєні. Це пояснюється недостатнім теоретичним дослідженням даного класу перетворювачів механічних величин, відсутністю систематизованих методик їхнього проектування, а також всебічної технічної проробки конструктивних схем.

Література:

1. А.С. Багатокомпонентний силовимірювач. / Заявка 4012829, ФРН, МКІ G01 L 1/04 Оп. 24.10.91.
2. А.С. Багатокомпонентний тензорний динамометр. / Заявка Японії 36432, МКІ G01 L 5/16 Оп. 11.01.91.
3. Гераїмчук М.Д., Іванов Ю. Є. Дослідження багатокомпонентних перетворювачів механічних величин. – К., „Віпол” 1996. – 108с.
4. Безвесільна, О. М. Вимірювання прискорень / О. М. Безвесільна. – К.: Либідь, 2001. – 261 с.
5. Безвесільна, О. М., Тимчик, Г. С., Подчашинський, Ю.О. Наукові дослідження в галузі вимірювання механічних величин. Підручник. Житомир: ЖДТУ, 2011; 976 с.

***Abstract.** The work analyzes the existing constructive solutions for measuring vector quantities, their advantages and disadvantages are given. Schemes of one-, two-, and three-component meters of vector quantities are given.*

***Key words:** measurement of vector quantities, three-component, multi-component, converter of mechanical quantities, accelerometer.*

Стаття відправлена: 20.09.2023 г.

© Заєць С.С., © Назаренко Н.М., © Киричук Ю.В.