

СЕКЦІЯ 9

МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИМІРЮВАННЯ МАСИ

УДК 006.91

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ЯКОСТІ

Ципоренко С. В.

Державне підприємство "Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів"

(ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»), Київ, Україна

E-mail: s_tsiporenko@ukrcsm.kiev.ua

Інфраструктура якості – система, яка є невід’ємною складовою національної економіки та має на меті забезпечити появу на ринку якісної, екологічної та безпечної продукції, послуг та процесів, що відповідають установленим вимогам. Ключовими елементами цієї системи, які забезпечують її належне функціонування, є метрологія, стандартизація, акредитація, оцінка відповідності та ринковий нагляд.

В умовах сучасної «Четвертої промислової революції (Industry 4.0)» інфраструктура якості має також зазнати певних революційних змін, пов’язаних насамперед із цифровою трансформацією. Ці зміни покликані насамперед, з одного боку, зменшити або запобігти втручанням людини у процеси, пов’язані із забезпеченням якості, а з іншого боку - забезпечити машинне збирання та аналізування даних з різних джерел, згенерованих в межах кожного окремого елемента національної інфраструктури якості.

Вкрай важливу роль у формуванні процесу цифрової трансформації має відігравати стандартизація. Своєчасне та узгоджене прийняття стандартів у сфері цифровізації має сприяти сумісності, продуктивності та інноваціям, а також забезпечити збільшення кількості рішень, які в подальшому можуть бути реалізовані по всьому світу.

Процес цифрової трансформації має також охопити сферу оцінки відповідності та сферу метрології. Як наслідок, в системі інфраструктури якості повинні бути запроваджені цифрові протоколи випробувань, цифрові сертифікати відповідності, цифрові сертифікати калібрування, цифрові свідоцтва про перевірку засобів виміральної техніки тощо.

Цифровізація у сфері акредитації має забезпечити безпаперове електронне оброблення всіх документів на кожному етапі процесу акредитації – від подачі заявки на акредитацію до видачі рішення за результатами акредитації (цифровий атестат про акредитацію, цифрова сфера акредитації).

Така трансформація національної інфраструктури якості має забезпечити «блокчейн продукції» зокрема для товарів, технічне регулювання яких здійснюється державою. Це дозволить в будь-який момент часу побудувати

неперервний ланцюг життєвого циклу будь якої одиниці продукції, який охоплюватиме такі етапи, як проектування, виготовлення, оцінку відповідності на різних етапах виробництва (включно із введенням продукції в обіг) та, за необхідності, контроль продукції в експлуатації (наприклад, періодична перевірка засобів вимірювальної техніки). Крім того, такий ланцюг даватиме змогу відслідковувати, які організації були залучені на тому чи іншому етапі життєвого циклу продукції, ступінь їхнього залучення, а також перевіряти їхню компетентність. Таким чином, цифрова національна інфраструктура якості має надати всім зацікавленим сторонам надійний та прозорий механізм розміщення на ринку продукції, яка належить до сфери технічного регулювання.

Ключові слова: цифровізація, інфраструктура якості, цифровий сертифікат, оцінка відповідності, калібрування.

УДК 620.174.25

УСТАНОВКА ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ТЕНЗОРЕЗИСТОРІВ

Погуляйко О. М., Подобед О. В.

Товариство з обмеженою відповідальністю «Високоточні вимірювання»

Запоріжжя, Україна

E-mail: O.podobied@hpm-gages.com

Однією з важливих характеристик тензорезистора, що впливає на точність вимірювання деформації деталей за високих температур, є залежність тензочутливості від температури.

У доповіді представлена конструкція установки для випробування тензорезисторів в діапазоні температур від 20 °С до 800 °С, яка розроблена та виготовлена спеціалістами ТОВ «Високоточні вимірювання» для метрологічних досліджень тензорезисторів власного виробництва типу НРМ. Приводяться результати дослідження температурних характеристик високотемпературних тензорезисторів НРМ STF120-3AA-A1100-F015 та STN120-3AA-A900-N015.

Крім основної мети, в даній роботі досліджувалась здатність реактивів НРМ conditioner SC-3 та НРМ Neutralizer NC-3 забезпечити високу адгезію керамічного цементу до деталей та надійність роботи тензорезисторів НРМ до температури 800 °С.

Основою метрологічної установки відтворення деформації за високої температури УВДТ є балка постійного перерізу зі сплаву ХН62МВКЮ з шоркостю поверхні Ra 0.32 мкм, знежирена етиловим спиртом та оброблена НРМ conditioner SC-3 та НРМ Neutralizer NC-3. Тензорезистори наклеєні на балку за допомогою цементу НРМ CC-2. Тензорезистори були підключені до тензоапаратури ТП002 (виробництво АТЗТ «УКРВЕСКОМ») кожний за чотирипровідною схемою. УВДТ забезпечує навантаження балки за схемою

чистого вигину. Методика проведення досліджень передбачала триразове послідовне навантаження-розвантаження балки до значень відносної деформації 500 ppm. Комп'ютерна реєстрація сигналів тензоапаратури виконувалася при температурах 22 °С, 100 °С і далі до 800 °С з кроком 100 °С.

Тензорезистори НРМ STF120-3АА-А1100-F015 і STN120-3АА-А900-N015, наклеєні на цемент НРМ СС-2, успішно відпрацювали цикл випробування до температури 800°С. На рис. 1 показані отримані залежності коефіцієнта тензочутливості від температури та температурна характеристика опору тензорезисторів (STF-синя лінія, STN-зелена лінія). Початкове значення середнього коефіцієнта тензочутливості тензорезисторів STF за кімнатної температури становить 2,39 і далі монотонно знижується до 1,97 при 800 °С. Початкове значення середнього коефіцієнта тензочутливості STN при кімнатній температурі становить 2,09, знижується до 1,87 при 600 °С і потім зростає до 1,99 при 800 °С.

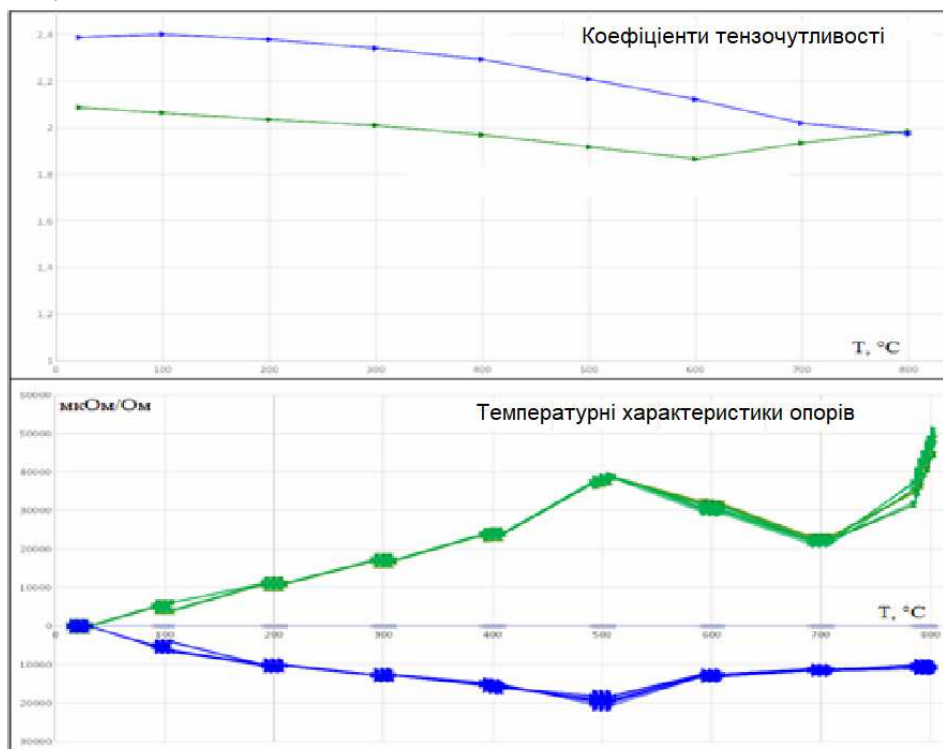


Рис. 1. Графічні експериментальні характеристики тензорезисторів

Проведені випробування тензорезисторів НРМ STF120-3АА-А1100-F015 та STN120-3АА-А900-N015, наклеєних на цемент НРМ СС-2 та отримані залежності коефіцієнта тензочутливості від температури та температурна характеристика опору тензорезисторів, являються основою алгоритмічної корекції похибок при високотемпературному тензометруванні деталей газотурбінного двигуна.

Встановлено, що початкова тензочутливість тензорезисторів, виготовлених з фехралю, при кімнатній температурі перевищує тензочутливість тензорезисторів, виготовлених з ніхрому, на 14 %, однак зі зростанням

температури чутливість фехралевих тензорезисторів істотно падає і при температурі 800 °С Також встановлено, що зміна опору фехралевих тензорезисторів у всьому діапазоні температур має меншу величину, ніж ніхромових. Крім того, менше і часовий дрейф опору при витримці за постійної температури.

Ключові слова: тензорезистори, тензочутливість, температура, вимірювання, деформація.

УДК 681.26

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ КОМПЛЕКСНОГО МОНІТОРИНГУ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗДРОТОВИХ Mesh- МЕРЕЖ

Мітронов В. А.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: vl.aquarius@gmail.com

Комплексний моніторинг промислових об'єктів стикається з важко об'єднаними вимогами – завадостійкість у складних умовах металевих конструкцій, що екранують сигнал, високій рівень електричних завод, металевий пил тощо. Для систем з автономним живленням важлива енергоефективність, що вимагає зниження вихідної потужності трансиверів вимірювальних пристроїв. Експерименти довели, що вдалим рішенням є використання Mesh-технології для побудови мережі приладів тензометричного та термометричного моніторингу. Можливість переводу частини трансиверів приладів в режим роутерів дає можливість передавання даних по ланцюжку трансиверів, що значно знижує вимоги до вихідної потужності трансиверів приладів. За такої побудови мережі можливо побудувати зону суцільного покриття великих площ без «мертвих» областей, отримати масштабованість та стійкість до втрати окремих пристроїв. Мережа працює у неліцензованому діапазоні 2,4 ГГц з граничною швидкістю передачі по радіоканалу - 250 кБ/с. Використовується 128-бітове шифрування даних за протоколом AES, що дозволяє запобігти доступу до інформації, що передається в мережі, стороннім приладам. Система складається з координатора мережі та необхідної кількості приладів тензометричного та термометричного моніторингу. Максимальна кількість вузлів мережі - 255 вузлів. За більшої кількості необхідних вузлів контролю використовується розділення поля контролю на декілька кластерів. Програмне забезпечення координатора дозволяє проводити запити за індивідуальними адресами приладів та проводити контроль, що оббігає. Дані передаються в комп'ютер, що проводить накопичення даних в базі даних та візуалізацію інформації з мережі (текстові та графічні варіанти візуалізації).

Також є можливість проводити вибірки за часом. Окрім тензOMETричного та термометричного моніторингу можливо контролювати і інші характеристики – освітленості, якості повітря, концентрації CO₂, вологості тощо. За такої побудови мережі приладів можливий моніторинг як стаціонарних так і об’єктів, що переміщуються у 3-вимірному просторі.

Ключові слова: моніторинг промислових об’єктів, ZigBee, IoT, передача і зберігання даних, енергоефективність, безпека.

УДК 006.915

ПОХИБКИ ПІДСУМОВУВАННЯ АНАЛОГОВИХ СИГНАЛІВ У ВАГОВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Зайцев В. М.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: viniza@ukr.net

Сучасний етап розвитку ваговимірювальних систем характеризується неспинним переходом до застосування цифрових ваговимірювальних датчиків (digital load cell). Це зумовлено в першу чергу постійним зменшенням вартості, збільшенням надійності, можливістю застосування алгоритмічних методів підвищення їх метрологічних характеристик. Проте суттєвий сегмент ринку (більше за 85 %) ваговимірювальних пристроїв та систем належить сучасним цифровим засобам вимірювальної техніки побудованих з застосуванням аналогових датчиків (analog load cell). Це відноситься як до систем, які знаходяться в експлуатації так і до нових систем, які вперше вводяться в обіг на ринку або проходять модернізацію вагової електроніки та датчикової складових.

Сучасний рівень точності багатодатчикових ваг неавтоматичного зважування таких як платформові неметрологічного призначення, автомобільні, вагонні характеризується кількістю повірочних поділок 3000 – 5000. Це забезпечується, по-перше, застосуванням цифрової електроніки (WE) з використанням високоточних дельта-сигма аналого-цифрових перетворювачів (розрядністю 24 bit та більше), що дозволяє забезпечити стійку чутливість до однієї ціни повірочної поділки $(0,1-0,5) \cdot 10^{-6}$ В, дозволяє їх використання в вагових пристроях із кількістю повірочних поділок е до $N=(10\ 000-12\ 000)$.

По-друге, прогресом в технології виробництва чутливих елементів ваговимірювальних тензорезисторних датчиків (LC), які мають класи точності С3-С5, згідно класифікації R60 OIML. Це відповідає границям допустимих основних приведених похибок 0,017-0,006 %.

Питання точності технічних засобів підсумовування сигналів з декількох датчиків в багатодатчикових приладах, як окремого модуля, ні в нормативно-технічних документах ні в нормативно-правових документах, таких як

Технічний регламент щодо неавтоматичних зважувальних приладів, ДСТУ R60 OIML:2019, ДСТУ EN45501:2017 не обговорюються, але нормуються через похибки, які спричинені зміною положення вантажу на платформі. Необхідність нормування метрологічних характеристик та визначення таких засобів як окремих модулів ваговимірювальних систем, на зразок LC та WE, при сучасному рівні точності цих систем, обґрунтовується наступним:

1. Чутливості LC в партії датчиків суттєво відрізняються. В більшості випадків провідні світові виробники LC дають толерантність на номінальне значення $\pm 0,5\%$, $\pm 0,1\%$ або, в кращих випадках, $\pm 0,05\%$. Наприклад, $2,000 \pm 0,01$ мВ/В;
2. Вихідні опори мостових тензорезисторних структур датчиків теж мають толерантність на рівні $\pm 0,5\%$, $\pm 0,1\%$ або, в кращих випадках, $\pm 0,03\%$. Наприклад, 350 ± 2 Ом;
3. Зміна значень вихідних опорів датчиків від температури, навіть при стабільних значеннях чутливості та нульового сигналу може становити 0,05%.

Паралельне з'єднання двох тензодатчиків, яке приведене на рис.1. визначає наступний вираз для загального вихідного сигналу U_{12}

$$U_{12} = U_{\text{жив}} \left(\text{РКП}_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + \text{РКП}_2 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right),$$

де $U_{\text{жив}}$ - напруга живлення паралельно сполучених датчиків; РКП_1 та РКП_2 - чутливості (робочі коефіцієнти перетворення) відповідно 1 та 2 тензодатчиків; R_1 та R_2 - вихідні опори відповідно 1 та 2 тензодатчиків.

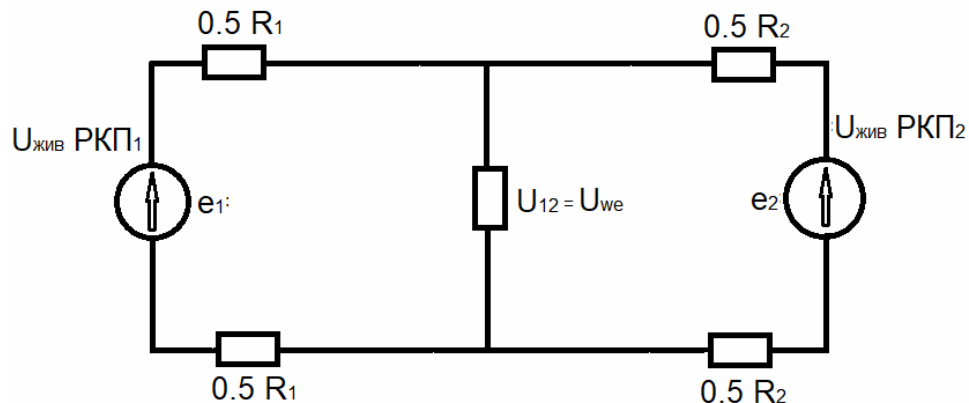


Рис.1. Еквівалентна схема паралельного сполучення тензодатчиків

В загальному випадку при паралельному з'єднанні n датчиків з чутливостями РКП_i та вихідними опорами R_i отримуємо вираз для загального вихідного сигналу U_n

$$U_n = U_{\text{жив}} \left(\sum_{i=1}^{i=n} \text{РКП}_i \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{R_i}} \right)$$

Порівняння сучасних вимог по точності до ваговимірювальних приладів та наведених відмінностей в реальних значеннях чутливостей і вихідних опорів

зумовлює необхідність використання з'єднувальних сумуючих коробок з можливістю регулювання вкладів кожного датчика в сумарний сигнал.

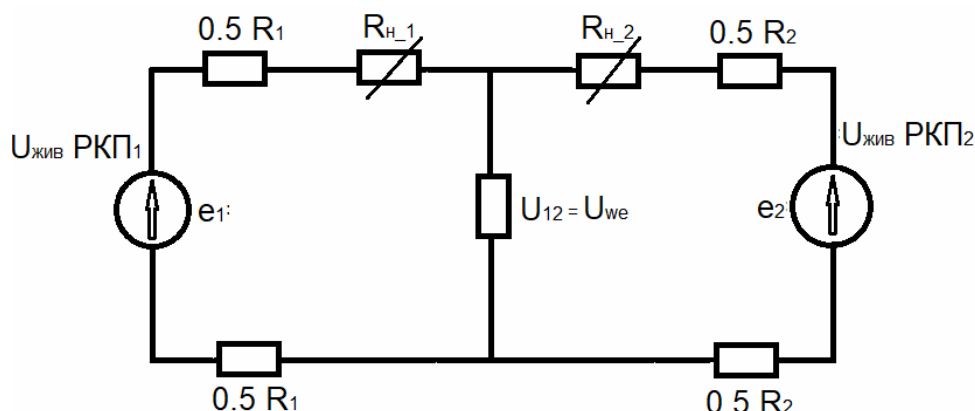


Рис. 2. Еквівалентна схема сумування аналогових сигналів А-типу

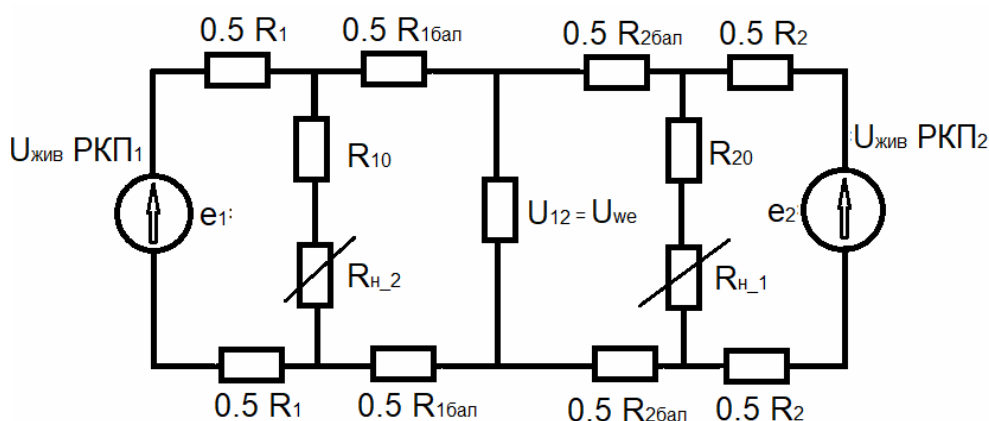


Рис. 3. Еквівалентна схема сумування аналогових сигналів Б-типу

Майже всі типи з'єднувальних коробок, зводяться до двох типів: А- сумування сигналів на опорах тензодатчиків та Б- сумування сигналів на великих балансувальних опорах. На рис. 2 та 3 представлені їх еквівалентні схеми для двох датчиків. В обох варіантах налаштування внеску кожного датчика здійснюється зміною опору $R_{n,i}$

Вирази для підсумованих сигналів від n паралельно з'єднаних датчиків мають вигляди

$$U_{нА} = U_{жив} \left(\sum_{i=1}^{i=n} РКП_i \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{R_i + R_{n+i}}} \right)$$

$$U_{нБ} = U_{жив} \sum_{i=1}^{i=n} РКП_i \cdot \left(\frac{R_{i0} + R_{n,i}}{R_i + R_{i0} + R_{n,i}} \cdot \frac{R_{ci}}{R_{бал} + R_{ci}} \right)$$

Числове моделювання двох останніх виразів з метою визначення мінімально необхідної чутливості регулювання $e/2$ та допустимих температурних змін опорів схем для побудови ваг категорії точності 3000-5000 поділок показує:

1. Принципову необхідність забезпечення чутливості регулювання внесків в загальний сигнал через вибір номінальних значень опорів сумуючих коробок;
2. Застосування термостабільних резисторів в робочому діапазоні температур;
3. Застосування δ -провідних схем під'єднання WE не тільки до з'єднувальної коробки, а до самих мостових схем кожного з датчиків;
4. Використання коробок типу Б для підсумовування сигналів з n датчиків з рівною кількістю каналів регулювання внесків в загальний сигнал;
5. Доцільність використання еквіпотенціальних схем розведення друкованих плат з'єднувальних коробок.

Загальний висновок: при сучасному рівні метрологічних характеристик WE та LC внесок похибок, які визначаються сумуючими з'єднувальними коробками в загальну похибку ваговимірювального приладу може бути домінуючим.

Ключові слова: ваговимірювальні системи, ваговимірювальні датчики, аналогові сигнали, підсумовування сигналів.