**В.В. Гніліцький, І.Г. Грабар, М.М. Кубишкін**

# БЕЗКОНТАКТНА СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ ТЕНЗО- ТА ТЕРМОДАНИХ З КОНСТРУКЦІЇ, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ

*Запропонована система безконтактної передачі даних з поверхні конструкції, що обертається. Система побудована на базі однокристального мікроконтролера 80С552. Дані передаються по оптичному каналу зі швидкістю 2 Мбіта/сек. До системи підключений персональний комп'ютер для обробки результатів.*

Стендові випробування конструкції, що обертається в умовах граничних навантажень, пов'язані з проблемою отримання даних про їх стан у процесі випробувань. Задачу можна вирішити за допомогою дистанційних безконтактних методів вимірювань, але вони мають велику похибку. Для впровадження контактних методів тензо- і термодатчики закріплюють безпосередньо на конструкції, що обертається. Результати вимірювань виходять більш точними, що дозволяє проводити тонкий аналіз структури сигналу. Однак, при використовуванні контактних методів необхідно забезпечити передачу інформації з конструкції, що обертається, на пристрій обробки результатів. Відомо два методи передачі інформації з конструкції: контактний та безконтактний. При великих швидкостях обертання краще використовувати безконтактні пристрої, які базуються на індукційному, ємнісному або електромагнітному способах безконтактної передачі [1], [2]. Останній забезпечує найбільшу пропускну здатність. Тому в системах контролю, які мають багато датчиків і здійснюють аналіз сигналів, що швидко змінюються, використовують електромагнітний спосіб. З точки зору простоти реалізації системи, найбільш придатним для передачі даних з конструкції, що обертається, є оптичний діапазон електромагнітних коливань, використання якого крім того забезпечує високу пропускну здатність та завадостійкість.

Система передачі інформації, яка обслуговує стендові випробування, повинна бути багатоканальною, гнучкою та забезпечувати потрібну достовірність передачі даних. Для цього найбільш підходять цифрові системи передачі. Рівень сучасних технологій дозволяє розмістити на конструкції, що обертається, пристрій, який реалізує прийом сигналів від тензо- та термодатчиків, їх перетворення в цифрову форму, кодування та передачу по оптичному каналу. Результати вимірювання у цифровій формі накопичуються у пам'яті пристрою. Пристрій будується на базі мікроконтролерів. Мікроконтролер розміщується на конструкції, що обертається, у порожньому валу. Мікроконтролер здійснює вибір датчиків, виконує аналогово-цифрове перетворення сигналів від датчиків, кодує вихідну цифрову інформацію і запам'ятовує її в розміщеній у ньому пам'яті. Мікроконтролер формує спеціальні інформаційні кадри з даних, що накопичені. Кадри передаються по оптичному каналу на нерухому частину системи за допомогою кодів з бітовою синхронізацією. Бітова синхронізація дозволяє використовувати один однонаправлений канал для передачі. На нерухомій частині стенда розміщується такий же мікроконтролер. Він виконує прийом даних побітно з синхронізацією від кожної двійкової посилки. Прийняті кадри запам'ятовуються, декодуються та передаються за допомогою пристрою сполучення на персональний комп'ютер для обробки. Запропонована структура системи безконтактної передачі даних забезпечує безперервний потік даних від датчиків на персональний комп'ютер, що дозволяє автоматизувати стендові випробування.

У лабораторії стендових випробувань та сертифікації Житомирського інженерно-технологічного інституту запропонована безконтактна система передачі інформації з конструкції, що обертається, на нерухому систему комп'ютерної обробки результатів. Система передачі складається з рухомої та нерухомої частини. Обидві частини побудовані за допомогою однакових цифрових модулів з використанням однокристального мікроконтролера 80С552, який має 8-канальний АЦП [3]. На рис. 1 зображена структура розробленої системи безконтактної передачі даних.

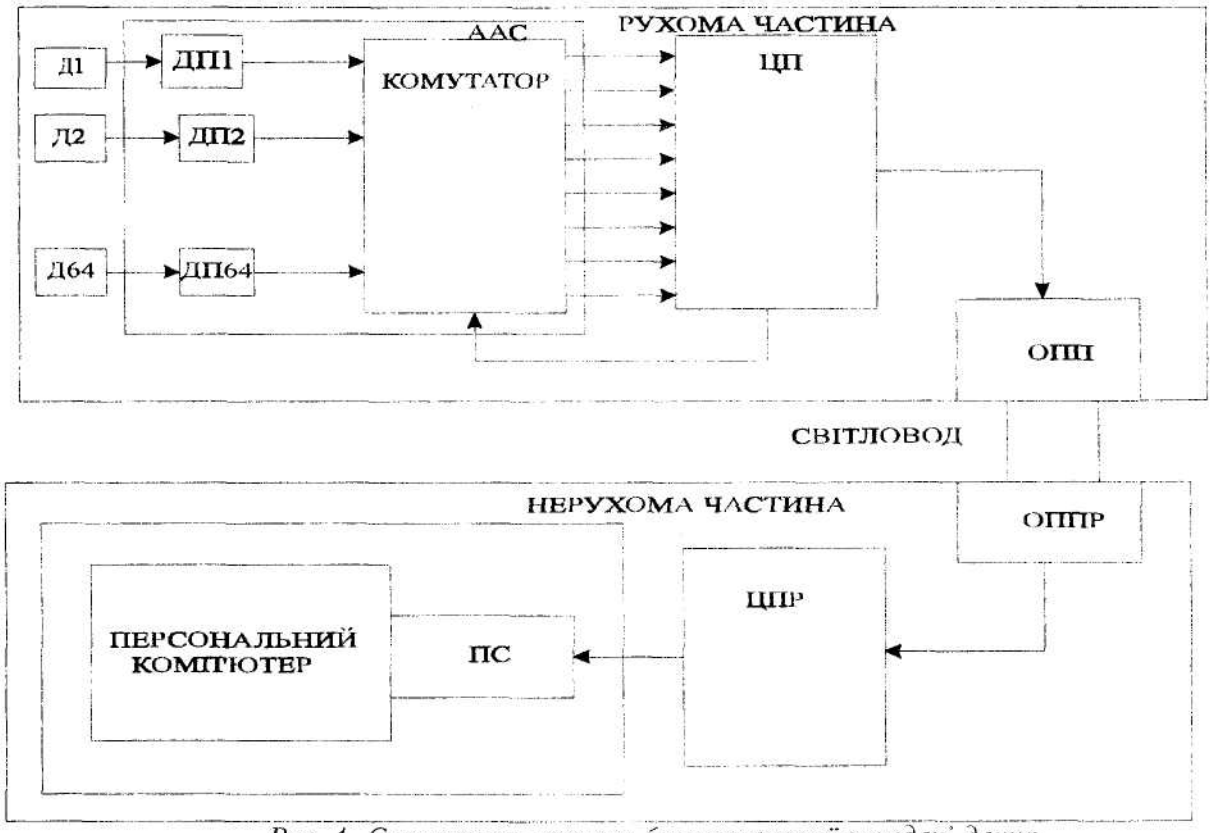


*Рис. 1. Структура системи безконтактної передачі даних*

Рухома частина системи складається з 64 тензо- і термодатчиків Д1...Д64, які виконують перетворення фізичних величин на електричні під час вимірювання. Тензо- і термодатчики закріплюються на поверхні конструкції, що обертається. Як датчики використовуються тензо- і термоопори. При великих навантаженнях обертання вони найбільш підходять завдяки малим вазі та розміру. Тензо- і термоопори підбираються відповідно вимогам вимірювань. Датчики повинні забезпечувати надійне закріплення на поверхні конструкції і мати максимальну площу безпосереднього контакту з поверхнею. Найбільш підходять для цього плівкові тензо- і термоопори. Датчики Д1...Д64 підключені до диференційних підсилювачів ДП1...ДП64 спеціальними проводами. Проводи повинні бути надійно закріплені на поверхні конструкції, що обертається, і мати малі електричні втрати. У порожнистому валі розміщені аналоговий адаптер сигналів (ААС), цифровий передавач на мікроконтролері 80С552 (ЦП) та оптичний перетворювач передачі (ОПП). Аналоговий адаптер сигналів містить у собі 64 диференційних підсилювача та комутатор аналогових сигналів з цифровим керуванням. Диференційні підсилювачі забезпечують узгодження електричних рівнів датчиків з аналоговими входами комутатора. Комутатор має структуру 64x8 та виконує вибір датчиків за цифровим кодом від цифрового передавача. Аналогові виходи комутатора узгоджені з аналоговими входами мікроконтролера 80С552. Сигнали вимірювань з виходів комутатора передаються на аналогові входи цифрового передавача, який зображений на рис. 2.

Цифровий передавач містить у собі мікроконтролер 80С552, регістр адреса (РА) та пам'ять програм (ПП). Регістр адреса і пам'ять програм призначені для функціонування мікроконтролера під керуванням програмного забезпечення, підготовленого до випробувань. Пам'ять програм являє собою програмований постійний запам'ятовуючий пристрій, який програмується перед вимірюваннями. В мікроконтролері 80С552 використовуються не всі елементи, а лише комутатор 8x1, 10-розрядний аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП) 128x8 байт та регістри спеціальних функцій. На рис. 2 зображені не все регістри спеціальних функцій, а лише ті, що відображають суть функціонування системи:

- РДС – 8-розрядний регістр старших даних АЦП;
- РДМ – 2-розрядний регістр молодших даних АЦП;
- РКАЦП – регістр керування АЦП та комутатора;

- РПК – регістр 2 МГц послідовного каналу;
- Порт 0 – порт даних 80С552;
- Порт 1 – порт зв'язку з персональним комп'ютером;
- Порт 2 – порт старших адресів 80С552;
- Порт 3 – порт керування ААС та керування зв'язком з персональним комп'ютером.

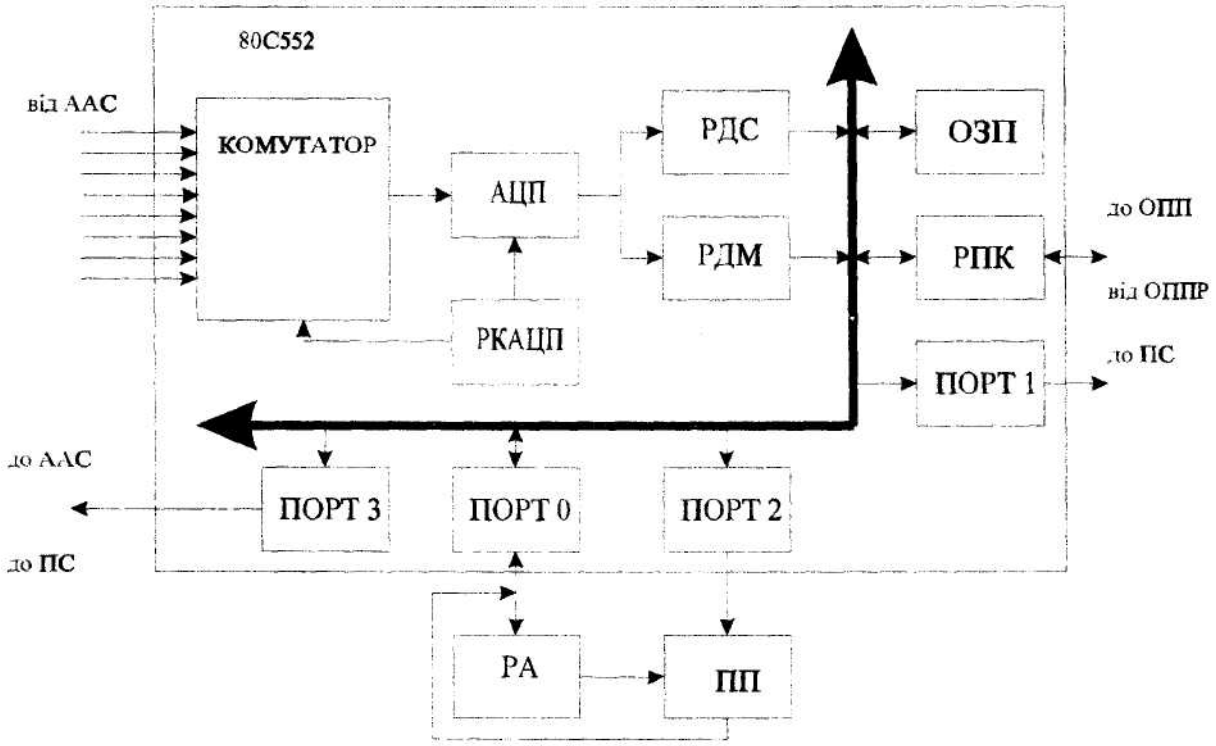


*Рис. 2. Цифровий передавач*

Цифровий передавач використовує вказані складові частини та додаткові регістри для функціонування під керуванням команд, які описані в [3], [4]. У системі безконтактної передачі цифровий передавач виконує прийом аналогових даних від 64 датчиків під керуванням Порт 3 та РКАЦП через комутатори за алгоритмом опитування, що задається під час підготовки випробувань. Далі сигнал перетворюється в АЦП, фіксується в регістрах РДС і РДМ та накопичується в ОЗП. Швидкодія 80С552 дозволяє зчитувати інформацію з датчиків та перетворювати її у цифрову форму з періодом 25 мкс. Під час послідовного опитування усіх 64 датчиків пристрій може виконувати обробку сигналів, частота яких не перевищує 300 Гц. Якщо необхідно зафіксувати вищі гармоніки сигналів, алгоритм та параметри процесу опитування датчиків можна змінити. Так наприклад, зменшення кількості датчиків, що опитуються, до 10 дозволяє оцифрувати та передавати сигнали, верхня частота яких сягає 2 000 Гц. Можна задати гнучкий алгоритм, коли частина датчиків буде опитуватись частіше ніж решта.

До накопиченого в ОЗП 10-розрядного результату перетворення додаються 6 біт номера датчика. У такий спосіб утворюється 16-розрядна двійкова послідовність, яка має дані та ідентифікатор датчика. Ця послідовність підлагає кодуванню та передачі по послідовному каналу через РПК на оптичний перетворювач передачі. Алгоритм кодування обумовлений технічними можливостями мікроконтролера 80С552. 16-розрядне слово розподіляється на 2 байта. Кожний байт відображається у вигляді коду з основою 8. Кожна позиція 8-кового коду попередньо підлягає додатковому табличному кодуванню та передається побайтно в РПК. Таблиця кодування позицій 8-кового коду зображена у табл. 1.

Кожна позиція відображається 3-бітовим кодовим словом. Далі це слово доповнюється зліва бітом синхронізації у вигляді '1'. 4-бітова послідовність підлягає кодуванню Манчестером 2, що збільшує довжину коду до 8. Цей код передається в РПК. Таким чином, 16-розрядне слово буде передане за 6 циклів записів у РПК. РПК автоматично перетворює паралельний код у послідовний і виконує передачу на оптичний перетворювач передачі. Таке складне кодування

забезпечує надійну сінхронізацію приймача, розташованого на нерухомій частині стенда, та дозволяє виявляти помилки передачі. Уявлення байтів у вигляді кодових слів коду з основою 8 дозволяє додатково формувати команди керування. Вони передаються на нерухому частину системи разом з корисною інформацією. Керуючі команди використовуються в системі для передачі ознак тестування, початку і кінця кадрів, що передаються, та контрольних сум. Послідовний вихід РПК забезпечує передачу даних зі швидкістю 2 МБіт/с.

*Таблиця 1*

| Позиція | Двійковий код | Синхро + двійковий код | Вихідний байт |
|---|---|---|---|
| 0 | 000 | 1000 | 10010101 |
| 1 | 001 | 1001 | 10010110 |
| 2 | 010 | 1010 | 10011001 |
| 3 | 011 | 1011 | 10011010 |
| 4 | 100 | 1100 | 10100101 |
| 5 | 101 | 1101 | 10100110 |
| 6 | 110 | 1110 | 10101001 |
| 7 | 111 | 1111 | 10101010 |

Оптичний перетворювач передачі виконує імпульсну модуляцію інтенсивності вузькоспрямованого пучка світлового потоку. Найбільш простими та економічними для цього є світлодіоди інфрачервоного діапазону на основі арсенида галію [5]. Такі світлодіоди мають швидкість перемикання, достатню для передачі інформації від РПК. Світлодіод закріплений на торці вала, що обертається, співосно нерухомому фотодіоду. Світлодіод та фотодіод розміщені у спеціальному світловоді довжиною до 2 см. Світловод являє собою металевий стакан з діаметром трохи більшим ніж вал, який обертається. Торцева частина вала розташована в середині цього стакана. Це дозволило виключити вплив зовнішнього випромінювання на оптичний канал передачі. Небажані відбиття від стінок світловода зменшені за рахунок покриття внутрішньої поверхні поглинаючими матеріалами. Такий світловод забезпечує передачу цифрових даних з рухомої частини стенда на нерухому.

Нерухома частина також зображена на рис. 1. Вона містить у собі оптичний перетворювач прийому (ОППР), цифровий приймач на мікроконтролері 80С552 (ЦПР), пристрій сполучення (ПС) та персональний комп'ютер. Оптичний перетворювач прийому містить у собі фотодіод та аналоговий перетворювач струму в напругу на дифенційному підсилювачі. Фотодіод перетворює коливання інтенсивності світла в електричний струм, який потім диференційним підсилювачем перетворюється у коливання напруги рівня цифрового сигналу. Оптичний перетворювач прийому підключений до послідовного входу цифрового приймача. Структура цифрового приймача повністю співпадає зі структурою цифрового передавача, який зображений на рис. 2. Послідовно прийняті біти перетворюються у 8-розрядний паралельний двійковий код у РПК. Далі цей код підлягає декодуванню у порядку, зворотному тому, що зображений у табл. 1. Якщо прийнятий байт не знайдений у таблиці, то цей байт вважається помилковим і далі обробці не підлягає. Під керуванням програми мікроконтролер складає з прийнятих безпомилкових даних 16-розрядні слова, які містять у собі результати вимірювання та номери датчиків. Ці слова запам'ятовуються в ОЗП мікроконтролера. Якщо мікроконтролер прийняв байти керування, то він виконує відповідні підпрограми. Зв'язок з пристроєм сполучення виконується через Порт 1 та Порт 3. Пристрій сполучення забезпечує передачу даних на персональний комп'ютер. Він містить у собі звичайні паралельні 8-розрядні порти доступу до системної шини. Пристрій сполучення розміщують у корпусі комп'ютера та підключають його до шини ISA. Швидкість передачі даних дорівнює 2 МБіт/с. Накопичення даних у персональний комп'ютер виконується під керуванням спеціальної програми. Прийняті дані підлягають розділенню на цифрові потоки відповідно ідентифікаторам датчиків. Результат записується в окремі сегменти оперативної пам'яті. Далі персональний комп'ютер переписує їх в окремі файли.

Програмне забезпечення системи дозволяє вибирати формат даних, що записуються, відповідно до пакета програм для обробки результатів вимірювань. У теперішній час програма підготовлює файли даних у форматах запису для відомих пакетів обробки результатів Origin та

Matlab. Використування таких універсальних пакетів дає можливість виконувати обробку результатів стендових випробувань конструкцій, що обертаються, на сучасному математичному і технічному рівні. Користувач пакетів Origin та Matlab зможе сам приймати рішення про методи обробки результатів вимірювань і одержувати звіти про випробування на стенді в автоматизованому режимі. Використовування універсальних форматів даних для зберігання результатів тензо- та термовимірювань забезпечує співробітництво різних дослідних груп користувачів при проведенні випробувань конструкцій, що обертаються.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Температурные измерения: Справочник / Под ред. О.А. Геращенко. – К.: Наукова думка, 1984. – 495 с.
2. Тензометрия в машиностроении: Справочное пособие / Под ред. Р.А. Макарова. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.
3. 80C51-Based 8-Bit Microcontrollers. Data HandBook IC20. Philips, 1995.
4. Проектирование цифровых устройств на однокристальных микроконтроллерах / В.В. Сташин, А.В. Урусов, О.Ф. Мологонцева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 224 с.
5. Оптичні системи передачі: Підручник для студентів вузів / В.І. Корнійчук, Т.В. Макаров, І.П. Панфілов. – К.: Техника, 1994. – 388 с.

ГНІЛІЦЬКИЙ Віталій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматики та управління в технічних системах Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:
– зв'язок, математичне моделювання та цифрова обробка сигналів.

ГРАБАР Іван Григорович – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:
– математичне моделювання;
– синергетика;
– нелінійні явища випробування натурних конструкцій;
– сучасні технології.

КУБИШКІН Микола Миколайович – завідувач сектора телекомунікацій ОД АКБ «Укрсоцбанк».

Наукові інтереси:
– телекомунікації, цифрова обробка сигналів.