

СЕКЦІЯ 10

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

УДК 621.3.087.44

РОЗПОДІЛЕНА СИСТЕМА ЗБОРУ ДАНИХ НА БАЗІ МЕРЕЖЕВИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СЕНСОРІВ

Богомазов С. А.

Національний технічний університет України

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

E-mail: sbogmzv@gmail.com

Суттєвою перешкодою в розвитку провідникових та безпровідникових мереж інтелектуальних датчиків є відсутність єдиного мережевого стандарту. Зараз використовуються десятки типів різноманітних інтерфейсів (RS-485, HART, USB, 4-20мА, IEEE-488) та промислових мереж (Profibus, Fieldbus, DeviceNet, Interbus, CANbus, Modbus, LIN). Перед виробниками датчиків постає завдання вибору типу цифрового інтерфейсу та комунікаційного протоколу, оскільки виробництво однотипних інтелектуальних датчиків для кожної з популярних в теперішній час мереж є економічно не вигідним.

Стандарти групи IEEE 21451 (раніше відомі як IEEE 1451) уніфікують інтерфейс між інтелектуальним датчиком та мережею [1]. В стандартах IEEE 21451 описані два класи пристроїв: ТІМ (Transducer Interface Module) та мережевий процесор NCAP (Network Capable Application Processor). Окрім того, визначається концепція TEDS (Transducer Electronic Data Sheet) – електронна специфікація датчика, що забезпечує самоідентифікацію пристрою в мережі. Специфікація TEDS містить такі дані, як код моделі, серійний номер, дату випуску та калібровочні дані, одиниці виміру, дату калібровки тощо [2].

Meta TEDS детально описує наявні та доступні у ТІМ канали, які більш детально описані в Channel TEDS кожного з каналів. У Channel TEDS описується інформація, що відноситься до фізичного рівня. Калібровочна інформація для кожного каналу записується у електронну документацію – Calibration TEDS [3].

На основі мікроконтролера MSP430G2553 (Texas Instruments) з ультранизьким енергоспоживанням та температурного датчика DS18B20 було реалізовано модуль ТІМ демонстраційного інтелектуального сенсора температури. Програмно-апаратне забезпечення модуля NCAP реалізовано на основі Java-мікросервера, створеного на базі одноплатного комп'ютера Cubieboard із операційною системою Linux. Програмне забезпечення модуля ТІМ реалізовано на мові embedded C, програмне забезпечення модуля NCAP реалізовано на мові програмування Java.

Для мікроконтролерного пристрою MSP430G2 розроблено програмне забезпечення, що реалізує функції модуля ТІМ у відповідності із стандартами IEEE 21451. Протокол передачі даних ТІІ (Transducer Independent Interface) між модулем NCAP і модулем ТІМ не залежить від фізичного рівня. Процес

передачі ініціює модуль NSAP, який звертається з командою до конкретного ТІМ. Коли ТІМ отримує і розпізнає команду, ця команда обробляється і надсилається відповідь до модуля NSAP. Команди, які надходять до ТІМ від NSAP, мають довжину три байти. Після надходження команди ТІМ надсилає 4-х байтову мета-відповідь. У розробленому модулі підтримується чотири команди стандарту IEEE 21451: readAvailableChannels() – прочитати інформацію про всі доступні канали в межах одного ТІМ; readMetaTeds() – прочитати Meta TEDS; readChannelTeds() – прочитати Channel TEDS; singleMeasurement() – виконати вимірювання.

Розроблено бібліотеку підтримки функцій модуля NSAP за стандартом IEEE 21451 для Java-машини на основі одноплатного комп'ютера Cubieboard, яка складається з наступних пакетів: *.ncap.channels – містить класи для роботи з каналами ТІМ; *.ncap.teds – містить класи для роботи з TEDS; *.ncap.tii – містить класи для організації передачі інформації; *.ncap.util – містить допоміжні класи для роботи з бібліотекою; *.ncap – містить основний клас для роботи з бібліотекою.

Клас Msp430Tii реалізує функції Java-інтерфейсу ТІІ для обміну інформацією з модулем ТІМ. Оскільки реалізація передбачає передачу даних через інтерфейс UART, то даний клас використовує бібліотеку JSSC. В класі Msp430ChannelsManager реалізовано функцію отримання інформації про всі доступні канали в ТІМ. Дана функція надсилає до ТІМ команду – прочитати всі доступні канали. ТІМ надсилає до NSAP відповідь у вигляді байтового масиву. У байтовому масиві містяться назви та id доступних каналів. Клас Msp430FunctionManager підтримує функцію зчитування Meta TEDS, функцію зчитування Channel TEDS, функцію отримання даних від датчиків. Клієнтська частина розподіленої системи збору даних реалізована на основі RESTful архітектури [4].

Реалізація розподіленої системи збору даних на основі стандарту IEEE 21451 дозволила спростити підключення перетворювачів до вимірювальних приладів та мереж шляхом реалізації єдиних інтерфейсів та механізмів самоконфігурування. Використання платформи-незалежних Java-технологій забезпечило незалежність програмних рішень від апаратної реалізації мережевого процесора та дозволило використовувати запропоновані рішення для широкого спектру операційних систем та апаратного забезпечення.

Ключові слова: інтелектуальний сенсор, стандарт IEEE 21451, збір даних.

Література

- [1] IEEE Standards Association. (2007). *IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators*. doi:10.1109/IEEESTD.2007.4346346.
- [2] A. Kumar, V. Srivastava, M. K. Singh, and G. P. Hancke, Current status of the IEEE 1451 standard based sensor applications, *IEEE Sensors J.*, vol. 15, no. 5, pp. 2505-2513, May 2015.
- [3] V. Viegas, O. Postolache, and J. M. Dias Pereira, Transducer Electronic Data Sheets: Anywhere, Anytime, Anyway, *Electronics* №8 (11), p.1345, 2019. doi: 10.3390/electronics8111345.
- [4] К. В. Береговий, та С. А. Богомазов, “Реалізація мережі інтелектуальних сенсорів на базі вбудованих Java-модулів”, на *XVIII н.-т. к. студ. та мол. уч. Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки*, Київ, 2015, с.10.

УДК 621.313.33

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ ЗАДАЧ КЕРУВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКИ

¹⁾Захарченко В. Д., ²⁾Стаценко О. В.

¹⁾ТОВ «PEATISS», Київ, Україна ²⁾ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
E-mail: vladyslav.zakharchenko1@gmail.com, o.statsenko@kpi.ua

На сьогоднішній день асинхронні двигуни (АД) складають основу сучасного електроприводу в багатьох галузях промисловості через свою відносно низьку вартість, простоту конструкції, надійність і, як наслідок, дешеве обслуговування.

Для забезпечення високої ефективності роботи двигунів в складі регульованого електроприводу необхідно точне визначення їх параметрів [1], в якості яких найчастіше використовують параметри схем заміщення фаз двигунів. Переважно використовують Т-подібну та Г-подібну схеми заміщення [2]. Основними параметрами цих схем є: активний опір і індуктивний опір розсіювання обмотки статора (r_1 , $x_{\sigma 1}$), наведені до статорної обмотки активний опір і індуктивний опір розсіювання роторної обмотки (r_2 , $x_{\sigma 2}$), активний і індуктивний опір намагнічуючого контуру (r_μ , x_μ).

Для ідентифікації параметрів АД використовують різні методи [3, 4, 5], такі як: методи ідентифікації засновані на аналізі частотних характеристик; методи ідентифікація за довідниковими даними; методи ідентифікація засновані на вимірах активної і реактивної потужностей; методи ідентифікація з використанням алгоритмів штучного інтелекту, таких як нейронні мережі, генетичні алгоритми, алгоритми нечіткої логіки; методи ідентифікації параметрів асинхронних двигунів шляхом розв'язку алгебраїчних рівнянь. Значна увага присвячена вирішенню цієї задачі вказує на її актуальність.

Крім того, контроль параметрів АД дозволяє визначити наявність дефектів, які можуть виникнути як на етапі виробництва двигунів, так і під час їх експлуатації [6]. Дані дефекти можуть стати причиною аварійних ситуацій, серед яких слід виділити: коротке замикання – є найнебезпечнішим, при ньому струми в обмотках зростають в сотні разів, внаслідок чого, різко зростає температура до критичних значень і двигун повністю виходить з ладу; перегрів обмоток – високе теплове навантаження на обмотки двигуна відбувається при протіканні великих струмів, при цьому передчасно руйнується ізоляція, що призводить до короткого замикання; механічні пошкодження, які, як правило, виникають при тривалій експлуатації і залежать від стану підшипників, великий відсоток руйнувань яких пов'язаний з мастилом, і їх забрудненням.

Запобігання аварійних ситуацій в АД на сьогоднішній день є важливим завданням, оскільки їх виникнення потенційно може призводити не тільки до значних матеріальних витрат пов'язаних з руйнуванням обладнання та простою виробництва, а й до травм обслуговуючого персоналу. Для визначення і

своєчасної ідентифікації зміни параметрів АД використовуються такі методи діагностики [6, 7]:

- Метод аналізу спектру струмів двигуна. Він використовується для виявлення пошкоджень ротора, не співвісності на статорі і нерівномірності повітряного зазору. Аналіз сигнатури струму двигуна заснований на виявленні струмових гармонік з частотами, наявність яких властиво для конкретних типів несправностей. Реалізація цих методів в регульованих електроприводах з АД не вимагає установки додаткової вимірювальної системи.

- Метод, заснований на аналізі вібрації двигуна. Аналізуючи спектр вібрації двигуна, можна визначити точну швидкість обертання двигуна і частоту напруги мережі, а також частоти, пов'язані з різними дефектами. Оскільки будь-якій реальній електричній машині властивий дисбаланс маси ротора і деяка не співвісність вала, це призводить до виникнення гармонік в його вібраційному спектрі.

- Досить новими і перспективними є інтелектуальні методи. До них відносять системи з нечіткою логікою, штучні нейронні мережі, а також фазі-нейронні мережі.

Незважаючи на значну кількість робіт присвячених різним методам ідентифікації та діагностики стану асинхронного двигуна, дослідження присвячені аналізу метрологічних характеристик інформаційних вимірювальних систем, які використовуються для цих завдань, практично відсутні. Тому подальші дослідження доцільно присвятити саме цим питанням.

Ключові слова: асинхронний двигун, схема заміщення, ідентифікація параметрів, аварійні ситуації, діагностика.

Література

- [1] А. Д. Поздеев, О. Г. Аристархов, та Д. Н. Волков, “Чувствительность асинхронных регулируемых электроприводов с частотно-токовым векторным управлением к неточности задания параметров настройки”, *Электротехника*, №6, pp. 1-7, 1998.
- [2] И. П. Копылов, *Математическое моделирование электрических машин*. Москва, Россия: Высшая школа, 1994.
- [3] М. С. Макеев, и А. А. Кувшинов, “Алгоритм расчета параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным”, *Вектор науки ТГУ*, № 1 (23), pp. 108-112, 2013.
- [4] J. Tang, Y. Yang, F. Blaabjerg, J. Chen, L. Diao, and Z. Liu, “Parameter Identification of Inverter-Fed Induction Motors: A Review”, *Energies*, Vol.11, Art.№ 2194, 2018.
- [5] А. А. Терехин, и Д. А. Даденков, “Обзор способов идентификации параметров асинхронного электропривода”, *Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления*, № 22, pp. 55-66, 2017.
- [6] Л. Г. Сидельников, и Д. О. Афанасьев, “Обзор методов контроля технического состояния асинхронных двигателей в процессе эксплуатации”, *Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело*, № 7, pp. 127-137, 2013.
- [7] P. S. Bhowmik, S. Pradhan, and M. Prakash, “Fault Diagnostic and Monitoring Methods of Induction Motor: A Review,” *Int. J. Appl. Control.*, vol. 1, no. 1, pp. 1-18, 2013.

УДК 621.317

ПОБУДОВА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЮ УСТАНОВКОЮ ДЛЯ КАВІТАЦІЙНОГО НАГРІВАННЯ РІДИНИ

Почернін С. П.

*Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна
E-mail: vstandard@ukr.net*

Установка призначена для дослідження умов виникнення ефекту кавітаційного нагрівання рідини, наприклад, води та водних розчинів при перекачуванні їх трубопроводами низького тиску (до 3 кгс/м²) без застосування додаткових джерел електричної або теплової енергії.

Дія установки заснована на ефекті кавітаційного нагрівання рідини, яка проходить через спеціальний пристрій – сопло Лавалля, що має спеціальний профіль потоку, в наслідок чого виникає процес утворення в рідині насичених парю пухирців, які постійно виникають і колапсують (схлопуються), тобто відбувається кипіння рідини, яке супроводжується виділенням надлишкового тепла і, за певних умов, сонолюмінесценцією – світінням рідини в місці, де відбувається кавітаційний процес.

Для дослідження умов виникнення і підтримання цього ефекту пропонується побудова автоматизованої системи управління експериментальною установкою, яка дозволяє в автоматизованому режимі за спеціальним алгоритмом досліджувати умови виникнення та підтримання цього ефекту, виявляти найвигідніші параметри профілю кавітаційного пристрою (сопла), складу робочої рідини (розчину), реєструвати температуру, тиск в контурі установки до та після кавітаційного пристрою, виникнення ефекту сонолюмінесценції, накопичувати статистичні дані для подальшої обробки.

Установка складається з наступних складових частин: насос з блоком керування, датчики температури і тиску на вході та виході кавітаційного пристрою, кавітаційний пристрій, фотодатчик для реєстрації сонолюмінесценції, пристрій для задання початкового статичного тиску в контурі, дросельний кран для регулювання гідравлічного опору в контурі, запобіжний клапан, блок управління.

Блок управління пропонується побудувати на основі одного з мікроконтролерних модулів на базі мікроконтролерів Atmega, наприклад Arduino UNO Rev3 або Arduino Mega 2560. Ці модулі надають ряд можливостей для здійснення зв'язку з комп'ютером, іншими пристроями Arduino, або мікроконтролерами. Для спрощення програмування модуля та, в подальшому, управління установкою, пропонується використовувати мову візуального програмування, наприклад, мову XOD IDE [1, 2].

Ключові слова: автоматизована система управління, кавітація, сонолюмінесценція, мікроконтролер, візуальне програмування.

Література

- [1] Ю. С. Грищук, *Мікропроцесорні пристрої*. Харків, Україна: НТУ “ХПІ”, 2007.
- [2] Є. Л. Шилін, та О.В. Стаценко, *Лабораторний стенд для дослідження роботи програмованих інформаційно-вимірювальних систем*. Київ, Україна: “НТТУ “КПІ””, 2017.

УДК 621.3.087.44

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ НА ОСНОВІ ПЛАТФОРМО-НЕЗАЛЕЖНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Токаренко О. В., Богомазов С. А.

Національний технічний університет України

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

E-mail: tokarenko36@gmail.com

Протягом довгого часу домінуюче місце в розробці серверних додатків для Інтернету речей (Internet of Things, IoT) займала мова програмування Java [1]. Але не дивлячись на велику популярність даної мови, вона має ряд недоліків. В цілому засновані на Java веб-фреймворки не дозволяють швидке внесення змін в роботу. Ще один фактор, що сповільнює веб-розробку – недостатня гнучкість мови Java. В цьому випадку її статична типізація є недоліком, а не перевагою. Прискорити процес веб-розробки, прототипування, написання сценаріїв дозволяє використання JVM-сумісних програмних засобів, що підтримують динамічну типізацію, зокрема мови Groovy та фреймворку Grails.

Grails – це фреймворк для швидкої веб-розробки, в основі якого лежить динамічна мова Groovy. В першу чергу Grails допомагає заощадити час при роботі над автоматичним створенням структури проекту. Даний фреймворк активно використовує концепцію програмування за угодами, що застосовується в аналогічному фреймворці Rails для мови Ruby. Якщо код відповідає угодам, то фреймворк виконує багато завдань, що вирішуються на рівні шаблонного коду [2]. Groovy – це об'єктно-орієнтована динамічно типізована мова, яка працює на віртуальній машині Java (JVM), що забезпечує платформи-незалежність технології. Її динамічні можливості доповнюють статично типізовану мову Java. Використання динамічної типізації дозволяє скоротити код, тому що зникає оголошення «очевидних» типів, забезпечується більш швидкий зворотній зв'язок і гнучкість при присвоєнні об'єктів різних типів єдиній змінній, з якою виконуються операції. Groovy заснований на ідеях Smalltalk, Ruby і Python і підтримує функціональні літерали, вбудовані колекції, регулярні вирази. В Groovy значно спрощується робота з XML завдяки вбудованій підтримці XML-обробки.

На базі фреймворку Grails з використанням мови Groovy була розроблена серверна частина демонстраційної системи Інтернету речей. Програмне забезпечення серверної частини системи розроблено для запуску у віртуальній машині Java. Такий підхід дозволив отримати платформи-незалежне програмне рішення, що не залежить від конкретних архітектур. Демонстраційна система складається з інтелектуальних датчиків, CoAP сервера і сервера додатків з СУБД PostgreSQL. Дані про температуру та вологість надходять з інтелектуальних датчиків в одноплатний комп'ютер Raspberry Pi. За допомогою протоколу CoAP (Constrained Application Protocol) виконуються запити на отримання даних.

CoAP – це веб-протокол, оптимізований для мереж з обмеженими ресурсами, типових для IoT і M2M (Machine-to-Machine) додатків [3]. Протокол базується на REST архітектурі, в якій ресурси доступні і ідентифіковані за допомогою уніфікованих ідентифікаторів ресурсів (URI). З ресурсами можна взаємодіяти за допомогою тих самих методів, які використовуються в HTTP: GET, PUT, POST і DELETE. Протокол складається з підмножини функціональних можливостей HTTP, які були перероблені з урахуванням обмежених обчислювальних можливостей і необхідності споживання мінімальної енергії. Транзакція CoAP має в 10 разів менше за розміром повідомлення, ніж HTTP. Це є наслідком значного стиснення заголовку, який реалізовано в протоколі CoAP.

В якості хмарної платформи було використано Amazon EC2. За допомогою налаштування конфігурації iptables реалізовано можливість обміну даними з веб-сервером як за протоколом HTTP, так і за протоколом CoAP. Для обміну даними за протоколом CoAP використовувалась бібліотека Californium, для роботи через UART – бібліотека jssc, що дозволило абстрагуватись від низькорівневих деталей. Для дослідження роботи сервера використовувався додаток Corper для браузеру Firefox та програма для аналізу мережевих пакетів Wireshark.

Запит до CoAP-сервера типу GET coap://name:port/.well-known/core повертає відповідь в форматі xml, що містить перелік URI усіх ресурсів. Запит до CoAP-сервера типу observe для ресурсу має вигляд coap://192.168.2.1:5683/SensorNode/ObjectTemperature. В результаті сервер періодично посилає повідомлення з експериментальними даними при кожному оновленні CoAP ресурсу. У випадку, коли метод не підтримується ресурсом, відправляється повідомлення з кодом 4.05- method not allowed.

Застосування протоколу CoAP дозволило зменшити вимоги до пропускну здатності комунікаційного каналу, що дозволяє використовувати навіть низькошвидкісне модемне з'єднання. Структура системи є горизонтально масштабованою, тобто дозволяє розширити конфігурацію на будь-якому рівні. Суттєвою перевагою розробленої структури є можливість перенесення складних обчислювальних операцій на рівень “хмарних” сервісів.

Використання фреймворку Grails та мови Groovy дало змогу значно скоротити кількість коду, надати гнучкості і стабільності роботи при внесенні змін при збереженні платформонезалежності програмного забезпечення.

Ключові слова: Інтернет речей, обробка даних, протокол CoAP, веб-додаток.

Література

- [1] О. В. Токаренко, та С. А. Богомазов, “Система збору експериментальних даних на основі Java-фреймворків”, на *XV Всеукр. наук.-практ. конф. студ., асп. та мол. вч. Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні*, Київ, 2019, с.532-534.
- [2] Б. Эванс, и М. Вербург, *Java. Новое поколение разработки*. СПб, Россия: Питер, 2014.
- [3] Z. Shelby, K.Hartke, and C. Bormann, The Constrained Application Protocol (CoAP). RFC 7252, 2014. [Online]. Available: <http://www.rfc-editor.org/info/rfc7252>. Accessed on: June 1, 2018.

УДК 621.317

ШИРОКОСМУГОВИЙ МУЛЬТИМЕТР ПОГЛИНАЮЧОГО ТИПУ

Туз Ю. М., Куліченко В. В.

Національний технічний університет України

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

E-mail: tuz@aer.kpi.ua, vladkulichenko@gmail.com

Вимірювальні прилади поглинаючого типу у своїх вхідних ланках споживають всю потужність, яку віддає джерело сигналу. Тобто їх вхідний опір є опором навантаження даного джерела сигналу. В залежності від характеру опору навантаження (активний, індуктивний, ємнісний, комбінований) на змінному струмі виділяється ті чи інші активні і реактивні потужності. Для вимірювання активної потужності навантаження має бути виключно активним. При великій потужності (1-100-500 Ват) такі властивості мають лампи розжарювання, які одночасно є перетворювачами потужності в світлове випромінювання. Світлове випромінювання можна перетворити в електрорушійну силу, або в будь-яку іншу електричну величину. Оскільки потужність залежить від напруги, струму і опору лампи розжарювання, з'являється можливість за вимірними значеннями електрорушійної сили фотоперетворювача знайти напругу, струм, опір і потужність такого навантаження після установа функціональної залежності цих величин. Іншими словами, побудувати мультиметр для широкого діапазону частот поглинаючого типу. Оскільки лампи розжарювання широкого вжитку не використовуються як вимірювальні перетворювачі, ставиться завдання експериментальним шляхом визначити залежності ЕРС фотоприймача від напруги на лампі розжарювання, струму через неї, потужності, споживаної лампою та електричного опору нитки розжарювання.

Для отримання експериментальних даних створена електрична схема, за якою на лампу подавалась напруга від 0 до 250 В з кроком 10 В, вимірювались струм і ЕРС фотоперетворювача за допомогою нановольтметра НР 34420 та розраховувались потужність, як добуток напруги та струму та опір лампи, як частка напруги і струму.

Створені відповідні масиви даних, з яких на рис. 1 представлені графіки залежностей $I = \varphi_1(E)$, $U = \varphi_2(E)$, $P = UI = \varphi_3(E)$, $R = U/I = \varphi_4(E)$.

Функції φ_1 , φ_2 , φ_3 , φ_4 за допомогою пакета Excel представлені в вигляді поліномів шостого порядку:

$$I = \sum_{i=0}^6 a_i E^i = -35006,4577 * E^6 + 90656.2428 * E^5 - 79076.0903 * E^4 + 33515.2168 * E^3 - 7107.1285 * E^2 + 740.8994 * E - 0.0863; \quad (1)$$

$$U = \sum_{i=0}^6 b_i E^i = 543478.2404 * E^6 - 650941.6812 * E^5 + 304869.0274 * E^4 - 62247.2597 * E^3 + 4559.4785 * E^2 + 213.0663 * E - 0.2644 \quad (2)$$

$$P = \sum_{i=0}^6 c_i E^i = 59507 * E^6 - 65201 * E^5 + 28170 * E^4 - 5623.9 * E^3 + 485.85 * E^2 - 5.8617 * E - 0.0047 \quad (3)$$

$$R = \sum_{i=0}^6 d_i E^i = 4193.6 * E^6 - 4851.5 * E^5 + 1796.8 * E^4 - 66.4 * E^3 - 83.074 * E^2 + 17.685 * E - 0.0068 \quad (4)$$

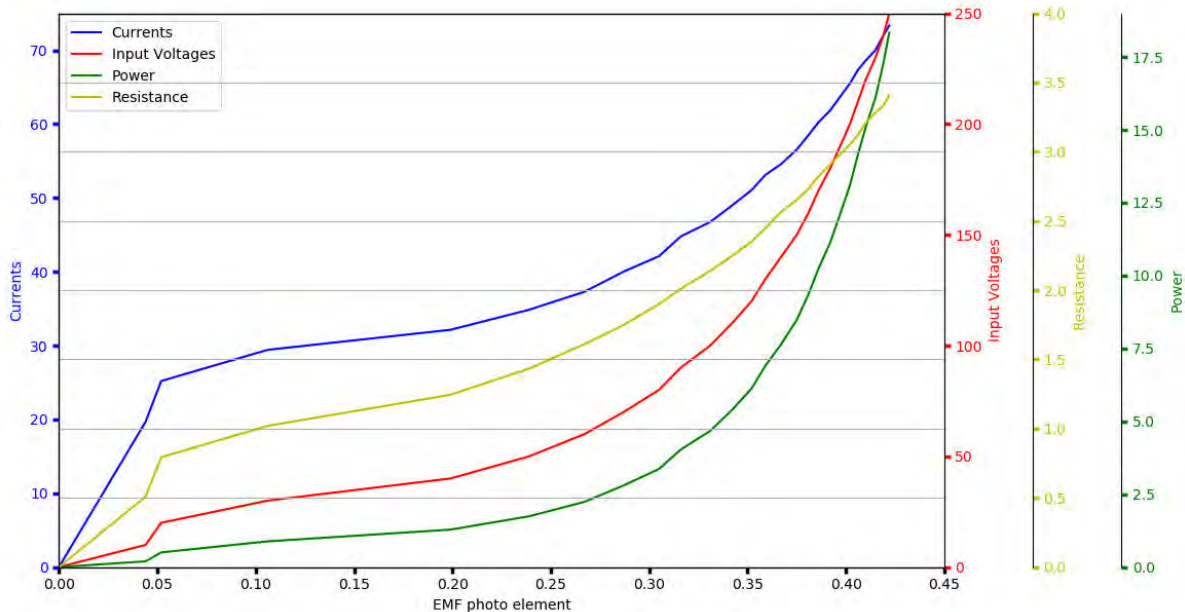


Рис. 1. Графіки залежностей $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$

Коефіцієнти поліномів для даної лампи розжарювання зберігаються в пам'яті комп'ютера, як калібрувальні величини.

Перевірка адекватності отриманих рівнянь відбувалась шляхом вимірювання напруги і ЕРС фотоприймача в точках не співпадаючих з вузловими масиву даних.

На основі описаних досліджень можливо створити мультиметр поглинаючого типу при фіксації опору лампи розжарювання за допомогою регулювання додаткового різночастотного струму через неї.

Висновок. На основі проведених досліджень побудовано макет широкосмугового мультиметра поглинаючого типу для вимірювання струму, напруги, потужності, опору навантаження на основі лампи розжарювання та фотоприймача її випромінювання з такими технічними даними: напруга до 250 В, струм до 60 мА, потужність до 15 Вт, опір до 4,17 кОм. Приведені похибки вимірювань не перевищують один відсоток. Діапазон частот від 0 до 1 МГц.

Ключові слова: мультиметр, лампа розжарювання, фотоприймач.

УДК 621.317

ВИМІРЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ЗА МЕТОДОМ НУЛІВ І ПОЛЮСІВ

Туз Ю. М., Шумков Ю. С.

Національний технічний університет України

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

E-mail: tuz@aer.kpi.ua, yu.shumkov@gmail.com

Важливою задачею в процесі виробництва радіоелектронної апаратури є внутрішньосхемний контроль параметрів електро- і радіоелементів (ЕРЕ) вузлів РЕА, плат друкованого монтажу на різних етапах їх зборки. При цьому задача контролю традиційно зводиться до послідовного вимірювання R, L, C -параметрів виділених ділянок схеми у вигляді простих електричних двополюсників (ДП) [1]. Але у загальному випадку моделлю виділених ділянок схеми є багатоелементне двополюсне електричне коло (БДЕК).

При використанні випробувальних сигналів (ВС) однієї із стандартних форм, що описується, наприклад, одиничною ступінчастою функцією, відгук випадку має форму, яка є складною для аналізу. При оцінці значень окремих R, L, C -параметрів кола це призводить до ускладнення апаратури аналізу, необхідності вимірювання відгуку з високою точністю і, відповідно, до істотних втрат часу на контроль.

При контролі ЕРЕ вузлів РЕА номінальні моделі виділених ДП і їх параметри заздалегідь відомі. Основне завдання контролю – це пошук відхилення реальної моделі БДЕК від номінальної. Тому насамперед важливим є оцінка відхилення відгуку за формою від номінального. Якщо відхилення знаходиться в межах допуску, обумовленого допусками на параметри ЕРЕ в складі виділеного ДП, то немає необхідності за формою відгуку оцінювати значення окремих його параметрів і лише при необхідності розв'язання задачі діагностики вимірюються окремі R, L, C -параметри. У зв'язку з цим актуальною задачею є розробка методів, що дозволяють спростити апаратуру аналізу і підвищити продуктивність систем. Із цього погляду перевагу мають методи, засновані на застосуванні спеціально підібраних за формою ВС, що вже під час перехідного процесу забезпечують легко аналізовані вихідні сигнали [2].

За методом нулів і полюсів використовують експоненціальні ВС, які відтворюють інверсну модель функції імітансу БДЕК, що досліджується. Нулі і полюси ВС вибираються так, щоб компенсувати полюси і нулі функції імітансу БДЕК $H_X(\alpha_X^z, \beta_X^p, s)$, де імітанс це або операторний опір $Z_X(s)$ послідовного багатоелементного ДП або операторна провідність $Y_X(s)$ паралельного ДП.

За рахунок вибору моделі ВС можна одержати номінальний відгук у вигляді одиничної ступінчастої функції. Некомпенсовані нулі і полюси визначають відхилення відгуку від номінального, тобто від деякого постійного рівня напруги, що вже легко оцінити і відповідно проконтролювати.

Умова синтезу моделі ідеального ВС $S_{B0}(\alpha_{B0}^z, \beta_{B0}^p, s)$:

$$S_{B0}(\alpha_{B0}^z, \beta_{B0}^p, s) \cdot H_{X0}(\alpha_{X0}^z, \beta_{X0}^p, s) = \frac{1}{s} \times A_0, \quad \alpha_{B0}^z = \beta_{X0}^p; \quad \beta_{B0}^p = \alpha_{X0}^z,$$

де $\alpha_{B0}^z, \beta_{B0}^p$ – номінальні значення нулів і полюсів ВС; $\alpha_{X0}^z, \beta_{X0}^p$ – номінальні значення нулів і полюсів функції імітансу багатоелементного ДП, наприклад $I_{B0}(s)Z_{X0}(s) = \frac{1}{s} \times U_0$ або $U_{B0}(s) \cdot Y_{X0}(s) = \frac{1}{s} \times I_0$. Тоді модель ВС матиме вигляд:

$$S_{B0}(\alpha_{B0}^z, \beta_{B0}^p, s) = \frac{1}{s} H_{X0}^{-1}(\alpha_{X0}^z, \beta_{X0}^p, s) \times A_0$$

Модель реального відгуку (нормований за рівнем при ідеальному ВС):

$$\begin{aligned} U_X(s) &= S_{B0}(\alpha_{B0}^z, \beta_{B0}^p, s) \cdot H_X(\alpha_X^z, \beta_X^p, s) = \\ &= \frac{1}{s} H_{X0}^{-1}(\alpha_{X0}^z, \beta_{X0}^p, s) \cdot H_X(\alpha_X^z + \Delta\alpha_X^z, \beta_X^p + \Delta\beta_X^p, s) \times A_0. \end{aligned}$$

Якщо $\alpha_X^z = \alpha_{X0}^p$; $\beta_X^p = \beta_{X0}^p$, то нормований відгук матиме вигляд одиничної ступінчастої функції $U_X(s) = 1/s$. Якщо нулі і полюси не скомпенсовані, то відхилення відгуку у часовій області від ступінчастого відтворює відхилення окремих параметрів кола від номінальних.

$$\begin{aligned} U_X(s) &= \frac{1}{s} \times A_0 + \Delta(s), \\ \Delta(s) &\cong \sum_{i=1}^m \frac{A_0}{s} H_{X0}^{-1}(\alpha_{X0}^z, \beta_{X0}^p, s) \left(\frac{dH_X(\alpha_X^z, \beta_X^p, s)}{d\alpha_i} \right)_{/\alpha_X=\alpha_{X0}, \beta_X=\beta_{X0}} \cdot \Delta\alpha_i + \\ &+ \sum_{j=1}^n \frac{A_0}{s} H_{X0}^{-1}(\alpha_{X0}^z, \beta_{X0}^p, s) \left(\frac{dH_X(\alpha_X^z, \beta_X^p, s)}{d\beta_j} \right)_{/\alpha_X=\alpha_{X0}, \beta_X=\beta_{X0}} \cdot \Delta\beta_j, \end{aligned}$$

де $\alpha_{X0} = \{\alpha_{i0}\}_{i=1}^m$; $\beta_{X0} = \{\beta_{j0}\}_{j=1}^n$. Такий відгук можна вважати як «узагальнений параметр» багатоелементного ДП, зручний для реалізації процедури контролю.

Для двохелементних ДП метод забезпечує інваріантне визначення окремих R, L, C -параметрів кола у окремі моменти часу, наприклад, на початку або наприкінці перехідного процесу встановлення вихідного сигналу.

Ключові слова: багатоелементне двополюсне електричне коло, метод нулів і полюсів, випробувальний сигнал спеціальної форми.

Література

- [1] Н. П. Байда, И. В. Кузьмин, та В. Т. Шпилевой, *Микропроцессорные системы поэлементного диагностирования РЭА*. Москва, СССР: Радио и Связь, 1987.
- [2] Ю. М. Туз, та В. П. Осадченко, “Некоторые особенности контроля параметров электрических цепей по методу нулей и полюсов”, на *Респ. науч.-техн. конф. Структурные методы повышения точности, чувствительности и быстродействия измерительных приборов и систем*, Киев, СССР, 1985, с. 127-128.

УДК 621.317

АНАЛІЗ ПОХИБКИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ЧЕРЕЗ АПРОКСИМАЦІЮ ВИПРОБУВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ

Туз Ю. М., Шумков Ю. С.

Національний технічний університет України

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

E-mail: tuz@aer.kpi.ua, yu.shumkov@gmail.com

На різних етапах зборки вузлів РЕА, плат друкованого монтажу важливою задачею є проведення внутрішньосхемного контролю параметрів електро- і радіоелементів [1]. Шляхом створення спеціального режиму в електричній схемі, що дозволяє виділити окремі ділянки у вигляді простих двополюсників, реалізується поелементний контроль. У загальному випадку моделлю виділених ділянок є багатоелементне двополюсне електричне коло (БДЕК). З точки зору забезпечення високої продуктивності систем контролю перевагу мають методи, засновані на застосуванні спеціально підібраних за формою випробувальних сигналів (ВС), що вже під час перехідного процесу в БДЕК забезпечують легко аналізовані вихідні сигнали [2]. Так за методом нулів і полюсів (МНП) використовують ВС, які складаються з суми експонент, що відтворюють інверсну модель функції імітансу досліджуваного кола.

Потрібність перебудови моделі ВС або його параметрів при вимірах потребує формування ВС за методом дискретного синтезу. Тривалість ВС визначається часом встановлення вільної складової перехідного процесу або власної реакції досліджуваного кола. Розширення діапазону визначення параметрів БДЕК потребує можливості формування експоненціальних ВС малої тривалості за невеликої кількості ділянок апроксимації. При цьому використання традиційного підходу до синтезу ВС кусково-ступінчастими функціями, що формуються ЦАП, призводить до великої похибки вимірювання. Аналогова фільтрація призводить до гладких кусково-експоненціальних моделей. Адекватним математичним апаратом до синтезу таких сигналів є наближення функцій експоненціальними сплайнами (ЕС). При цьому актуальним є дослідження похибки визначення параметрів електричних кіл при невеликій кількості ділянок апроксимації і її мінімізація, що дозволить розширити діапазон параметрів, що визначаються.

Наприклад, для послідовного R, C -кола, імпеданс якого $Z_X(s) = R_X \frac{s + \alpha_X}{s}$, ВС за МНП має бути $i_{B0}(t) = (U_0/R_{X0}) \cdot \exp(-\beta_{B0}t) \cdot 1(t)$, де $\alpha_X = 1/R_X C_X$, $\beta_{B0} = 1/R_{X0} C_{X0}$. Відгук на виході перетворювача «імітанс-напруга» $U_{вих}(t) \cong 1 \cdot U_0 + (\Delta R_X/R_{X0}) e^{-\beta_{B0}t} U_0 - (\Delta C_X/C_{X0})(1 - e^{-\beta_{B0}t}) \cdot U_0$, $t \geq 0$ відтворює відхилення $\Delta R_X, \Delta C_X$ від номінальних [2]. Якщо $R_X = R_{X0}$ і $C_X = C_{X0}$, то відгук буде $U_{вих}(t) \cong 1(t) \cdot U_0$, що є зручним для реалізації процедури контролю.

Розглянуто наступні випадки побудови сплайнової моделі ВС: 1 – інтерполювання за формою ідеального ВС $i_{B0}(\bar{t})$; 2 – наближення ідеального ВС з мінімальною абсолютною похибкою на кожному інтервалі; 3 – побудова сплайнової моделі ВС шляхом інтерполяції за формою ідеального відгуку (при номінальних значеннях параметрів R_{X0} , C_{X0}). Наприклад, відгук, якщо ВС сформований $G_{2,1}(\bar{t})$ -сплайнами [3], у випадку інтерполяції за формою ідеального ВС буде:

$$U_{\text{вих}}(\bar{t}) = \frac{R_X U_0}{R_{X0}} \left\{ \frac{\alpha_X}{\alpha_G} + \frac{\alpha_X (e^{-\beta_{B0}} - e^{-\alpha_G})}{(1 - e^{-\alpha_G})(1 - e^{-\beta_{B0}})} + \right. \\ \left. + \left[\left(1 - \frac{\alpha_X}{\alpha_G}\right) \cdot \frac{e^{-\beta_{B0}} - e^{-\alpha_G}}{(1 - e^{-\alpha_G})} - \frac{\alpha_X (e^{-\beta_{B0}} - e^{-\alpha_G})}{(1 - e^{-\alpha_G})(1 - e^{-\beta_{B0}})} \right] \cdot e^{-\beta_{B0} \cdot n} + \right. \\ \left. + \frac{\alpha_X (e^{-\beta_{B0}} - e^{-\alpha_G})}{(1 - e^{-\alpha_G})} e^{-\beta_{B0} \cdot n} \cdot \varepsilon + \left(1 - \frac{\alpha_X}{\alpha_G}\right) \cdot \frac{1 - e^{-\beta_{B0}}}{(1 - e^{-\alpha_G})} e^{-\beta_{B0} \cdot n} e^{-\alpha_G \cdot \varepsilon} \right\},$$

де $\bar{t} = n + \varepsilon$ – відносний час, пов’язаний з дійсним часом $\bar{t} = t/h$, h – рівномірний інтервал дискретизації; $n = 0, 1, 2, \dots, N_a - 1$; $0 \leq \varepsilon \leq 1$; $\alpha_X = \alpha_{X_T} h$, $\beta_{B0} = \beta_{B0_T} h$; $\beta_{B0} = \alpha_{X0}$ – параметри у відносному масштабі; $\alpha_G = \alpha_{G_T} h$ – відносний у часі параметр моделі сплайнів; $h = \Theta_Z / N_a = |\ln \xi_{f_Z}| / \beta_{B0_T} N_a$; N_a – кількість ділянок апроксимації; Θ_Z – час спостереження відгуку; ξ_{f_Z} – відносна похибка встановлення власної реакції кола.

Оцінки похибки визначення параметрів R_X , C_X через апроксимацію:

$$\delta R_X \cong \Delta U_R / U_{R0}, \text{ де } \Delta U_R = \max_{\varepsilon \in [0,1]} |U_{\text{вих}}[0, \varepsilon] - 1|, U_{R0} \equiv 1, 0.$$

$$\delta C_X \cong \Delta U_C / U_{C0}, \text{ де } \Delta U_C = \max_{\varepsilon \in [0,1]} |U_{\text{вих}}[N_a - 1, \varepsilon] - 1|, U_{C0} \equiv 1, 0.$$

При обмеженій кількості ділянок апроксимації зазначена складова похибки визначення параметрів електричного кола за МНП є головною.

Ключові слова: метод нулів і полюсів, випробувальний сигнал спеціальної форми, дискретний синтез, апроксимація.

Література

- [1] Н.П. Байда, И.В. Кузьмин, та В.Т. Шпилевой, *Микропроцессорные системы поэлементного диагностирования РЭА*. Москва, СССР: Радио и Связь, 1987.
- [2] Ю.М. Туз, та В.П. Осадченко, “Некоторые особенности контроля параметров электрических цепей по методу нулей и полюсов”, на *Респ. науч.-техн. конф. Структурные методы повышения точности, чувствительности и быстродействия измерительных приборов и систем*, Киев, СССР, 1985, с. 127-128.
- [3] Ю.С. Шумков, М.В. Гращенко, та В.С. Дараган, “Формування випробувальних сигналів спеціальної форми на основі експоненціальних сплайнів”, *Механіка гіроскопічних систем*, Вип. 35, с. 30-40, 2018.

УДК 681.3.014, 681.2.088

РОЗРОБКА БЕЗПЛАТФОРМНОЇ КУРСОВЕРТИКАЛІ «АМАЛЬТЕЯ» ДЛЯ СИСТЕМИ ЗАХОПЛЕННЯ РУХУ

Лакоза С. Л., Літош А. М.

Національний технічний університет України

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

E-mail: s.Lakoza@kpi.ua

Використовуючи різні типи систем захоплення руху, можна оцінити положення та зміну кінематичного руху тіла в просторі під час виконання вправ. В інерціальних системах захоплення руху (СЗР) використовується декілька мініатюрних безплатформних курсовертикалей (БКВ), котрі встановлюються в певних точках на людському тілі. Інерціальні СЗР є привабливими для багатьох користувачів у зв'язку з їхніми особливостями: автономність; портативність системи; свобода пересування користувача; відсутність вимог до навколишнього середовища; висока інформативність даних, робота в режимі реального часу; невисока вартість.

У даній роботі представлено опис створеної БКВ «Амальтея», що використовується у власному прототипі СЗР. Прототип СЗР складається із декількох автономних БКВ, базового бездротового приймача, підсистеми збору даних та відтворення анімації. Структурно-функціональна схема системи показана на рис. 1. БКВ має

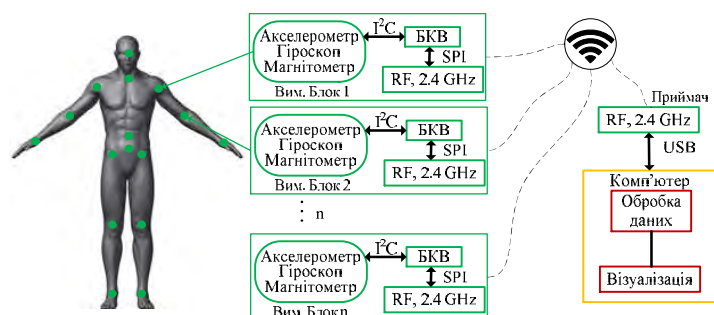


Рис. 1. Структурно-функціональна схема інерціальної СЗР

власне джерело живлення, інерціальний вимірювальний блок (ІВБ), модуль обчислення орієнтації та радіопередавач. Програмне забезпечення БКВ, виконує опитування та зберігає дані в пам'яті. По завершенню опитування, інформація передається на ПК для обробки в алгоритмах підсистем збору

даних та відтворення анімації для візуалізації, або записується в файл.

Ядром БКВ є обчислювальний модуль. Для проведення обчислень, вибірки даних, контролю та налагодження датчиків використовується мікроконтролер AVR ATmega 328p від компанії Microchip. Контролер має апаратну реалізацію цифрових інтерфейсів I2C, UART, SPI. Живлення контролера 5В.

ІВБ включає в себе набір датчиків: 3-ох вісний гіроскоп ITG3200, акселерометр ADXL345 та магнітометр HMC5883. Датчики ІВБ виготовлені за MEMS технологією та мають цифровий вихід I2C. Вони під'єднуються до контролера паралельно на шину даних I2C. Розміри корпусів датчиків не більше 5x5x1 мм. Живлення – від 2 до 3.6 В.

Бездротова передача даних здійснюється на основі прийомо-передатчика

NRF24L01+. Радіоканал працює на частоті 2.4ГГц та здатен передавати дані на швидкості до 2 МБ/с. Характерною рисою цих радіомодулів є висока завадостійкість каналу передачі даних.

Мережа із БКВ та приймача має структуру відповідно до системи MultiSeiver із 6 блоками на канал. Радіомодуль має цифровий інтерфейс SPI для обміну даних із мікроконтролером. Передача даних здійснюється з FIFO-буфера радіомодуля, у який вона завантажується після виконання основного алгоритму БКВ. Після завантаження даних радіомодуль автоматично збирає посилку, надсилає до приймача та переходить в режим приймача. Кожна посилка має свій унікальний ідентифікатор тому не може бути сплутана із посилкою від іншого ІВБ. Приймач головного модуля приймає посилку та декодує її.

БКВ має бути автономною, а тому в якості джерела живлення використовується Li-Po акумулятор високої ємності (900 мАгод). Напруга акумулятора, в залежності від рівня заряду, варіюється від 4.2В до 3.6В. Беручи до уваги напруги живлення датчиків, необхідно використовувати два різні живлення: 5В для мікроконтролера та 3.3В для датчиків. Обраний регулятор з фіксованою вихідною напругою LP2980AIM5-3.3 від Texas Instruments, який перекриває весь діапазон зміни напруги акумулятора. Забезпечення стабільної роботи мікроконтролера ATmega328p на частоті 20МГц можлива лише при номінальній напрузі живлення 5В. Для підвищення напруги живлення використовується підвищуючий регулятор постійного струму (DC-DC boost converter) NCP1402 компанії On Semiconductor. Напруга початку роботи – від 0.8В, точність встановлення 2,5% при струмі до 200мА. ККД схеми 85%.

Створення БКВ потребує встановлення всіх трьох датчиків на одній платі взаємно перпендикулярно і таким чином, щоб їх осі чутливості співпадали за напрямком. Необхідною вимогою до розміщення датчиків є зменшення відстані між датчиками та забезпечення нерухомого відносного положення під час руху об'єкта установки БКВ. Для вирішення поставлених задач. Розроблено електричну схему БКВ, схему трасування плати та створено спеціальну друковану плату (рис. 2). Зібрана друкована плата поміщається в спеціальний

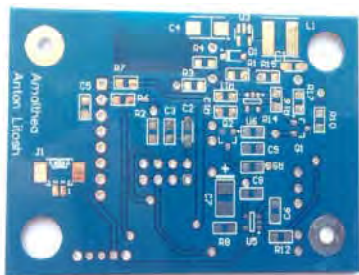


Рис.2. Друкована плата ІВБ та виготовлена БКВ

захисний корпус, виконаний із пластику. Виготовлена БКВ «Амальтея» показана справа на рис.2.

У якості алгоритму орієнтації застосовано доповняльний фільтр оцінки положення (комплементарний фільтр

Wachmann) з власним методом швидкого розділення каналів корекції та з обмеження глибини корекції.

Ключові слова: захоплення руху, безплатформна курсовертикаль.