

УДК 681.3.014

С.В. Леміш, магістр

О.О. Гусев, канд. техн. наук

А.С. Ревко, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

ЗАВАДОСТІЙКА СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ СИЛОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Запропонована конструкція нового інтерфейсу передачі даних, призначеного спеціально для інтеграції у силовий перетворювач, блоки якого знаходяться на відстані один від одного. Цей варіант реалізації каналу зв'язку поєднує у собі простоту апаратного та програмного забезпечення інтерфейсу і, в той же час, достатній рівень завадостійкості, що забезпечує стійку комунікацію між блоками перетворювача.

Ключові слова: завадостійкість, передача даних, силовий перетворювач.

Предложена конструкция нового интерфейса передачи данных, предназначенного специально для интеграции в силовой преобразователь, блоки которого находятся на расстоянии друг от друга. Данный вариант реализации канала связи сочетает в себе простоту аппаратного и программного обеспечения интерфейса и, в то же время, достаточный уровень помехоустойчивости, обеспечивает устойчивую коммуникацию между блоками преобразователя.

Ключевые слова: помехоустойчивость, передача данных, силовой преобразователь.

The design of a new data communication interface designed specifically for integration into the power converter units, which are at a distance from each other. This version of the communication channel combines the simplicity of the hardware and software interface and, at the same time, a sufficient level of noise immunity, which ensures stable communication between units converter.

Key words: robustness, data transmission, power converter.

Постановка проблеми. Під час роботи силових електронних пристроїв важливим питанням є точність передачі інформації між системою керування та об'єктом керування. Великі струми, що протікають по силових елементах схеми, створюють потужне електромагнітне поле, яке негативно впливає на роботу інших елементів схеми. Особливо небезпечними є електромагнітні поля, що виникають під час роботи індуктивностей та трансформаторів в імпульсних пристроях силової електроніки. Електромагнітні завади, якими супроводжується комутація напівпровідникових приладів, можуть спотворювати сигнали зворотного зв'язку та керування.

Проблема завад у силовій електроніці посідає важливе місце. Їх вплив може порушити роботу всієї системи. Силкові пристрої, будучи джерелом завад, самі ж від них і страждають [1].

Сучасний рівень розвитку промисловості характеризується широким різноманіттям застосування автоматичних систем. Висока чутливість засобів автоматики, значна відстань від пунктів керування до давачів та силових перетворювачів, тенденція до об'єднання на підприємстві всіх машин і обладнання у спільну мережу робить проблему завадостійкої передачі даних актуальною на сьогодні [2; 3].

Мета статті. Головною метою цієї роботи є покращення якості функціонування пристроїв силової електроніки за рахунок введення завадостійкого інтерфейсу передачі даних між їх блоками.

Виклад основного матеріалу. У цій роботі запропонована конструкція силового перетворювача, в якому використаний новий інтерфейс передачі даних. Оптимальне рішення для створення цього інтерфейсу – застосування оптичного волокна як середовища для передачі інформації, а також використання протоколу обміну даними з найменшою збитковістю і максимально можливою швидкістю передачі.

Застосування оптичного волокна дозволяє звести до мінімуму вплив завад, які могли б наводитись безпосередньо на канал передачі даних, а також вплив паразитних параметрів лінії при великих швидкостях передачі та значній довжині кабелю (активний опір, ємність тощо). Під каналом передачі даних розуміємо сукупність фізичного та логічного інтерфейсу передачі даних. Протокол обміну даними, у свою чергу, включає в себе мінімальну кількість інформації, необхідну саме для роботи силового перетворювача. В одному напрямку передаються дані, отримані з давачів пристрою, а в іншому – сигнали для керування силовою частиною (коефіцієнти заповнення широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) для кожного ключа). Передача адрес, сервісних даних, байтів форматування кадру, кодів команд, контрольних сум, сигналів підтвердження тощо не передбачена [4; 5]. Проте всі необхідні функції для стійкої комунікації реалізовані.

Структурна схема силового перетворювача з новим інтерфейсом передачі даних зображена на рис. 1. Алгоритм керування пристроєм формується системою керування. Інтерфейс перетворює вхідні й вихідні дані в зручну для передачі форму згідно з розробленим протоколом. Оптичні трансивери забезпечують двосторонню передачу інформації по оптичному волокну. Блок обробки інформації збирає дані з давачів та керує роботою силової частини перетворювача.

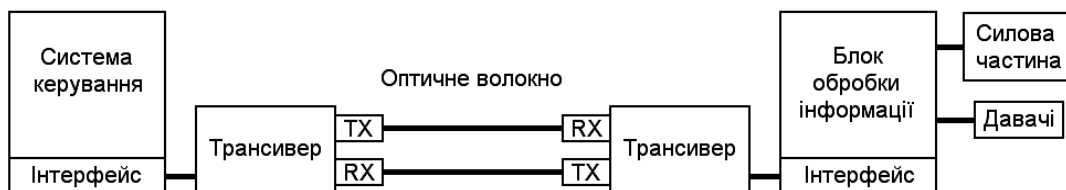


Рис. 1. Структурна схема перетворювача з новим інтерфейсом

Економічна перевага використання оптично-волоконного каналу стає помітною під час проектування довгих ліній, оскільки на сьогодні спостерігається тенденція до збільшення вартості міді в порівнянні до зменшення вартості напівпровідникових пристроїв і кварцевих волокон.

Під час проектування силового пристрою не слід нехтувати стандартними методами зменшення рівня завад – заземлення, екранування, використання фільтрувальних елементів, правильне трасування друкованих плат тощо. Особливу увагу слід приділити захисту інтегральної схеми, яка забезпечує логіку роботи каналу. Вона повинна мати стабільне живлення і бути захищеною від впливу завад, які можуть виникнути у самому перетворювачі.

У цій системі запропоновано протокол, що є оптимальним для керування силовим перетворювачем під час використання оптичного волокна як середовища передачі даних.

Вхідний пакет для системи керування перетворювачем (рис. 2, а) містить сигнал START та N фрагментів даних від давачів, де N – кількість давачів у системі, і довжина кожного такого фрагмента дорівнює розрядності давача в бітах. START – унікальний сигнал, що передається в лінію лише на початку кадру. Він дозволяє виділити межі пакета, а також ініціює прийом кадру приймачем. Впровадження такого сигналу для цієї системи є більш ефективним, ніж використання преамбули для початку кадру у схожих типах протоколів, оскільки такий сигнал має меншу довжину (три бітових інтервали) і може зустрічатись ніде, окрім початку кадру. Вихідний пакет системи керування (рис. 2, б) містить сигнал START та послідовність фрагментів керування ключами від SW 0 до SW N,

де N – кількість напівпровідникових ключів у системі. Таким чином, цей протокол містить лише мінімально необхідну інформацію для роботи силового перетворювача.



Рис. 2. Формат вхідного кадру для системи керування (а) та вихідного кадру системи керування (б)

На фізичному рівні у цьому проекті використовується метод кодування, який побудований на основі Manchester II (рис. 3). Він дозволяє забезпечити стійку синхронізацію та виконати детектування помилки безпосередньо на фізичному рівні. Основний недолік такого методу – збільшення частотного діапазону вдвічі. Цей спосіб передачі досить легко може бути реалізований у системах з оптичними трансиверами.



Рис. 3. Сигнал у лінії під час передачі кадрів

Відстань між послілками не має значення (вибір апаратних ресурсів перетворювача можна вважати оптимальним, якщо відстань між кадрами дорівнює нулю). Прийом кадру ініціюється сигналом START, який являє собою послідовність із високого та низького рівнів у лінії, тривалість кожного з яких дорівнює 1,5 бітових інтервали. Таким чином, забезпечується мінімальний час виділення початку кадру, а також гарантія того, що подібна послідовність не зустрінеться в лінії будь-коли, окрім початку пакета.

Синхронізація виконується постійно на кожному біті послілки, оскільки кожен біт передбачає зміну логічного рівня на протилежний усередині бітового інтервалу. Спосіб виконання синхронізації може варіюватись залежно від алгоритму роботи дешифратора. В такій системі стабільність частоти не є необхідною умовою.

Детектування помилки в каналі здійснюється безпосередньо на фізичному рівні. Оскільки цей метод кодування передбачає зміну логічного рівня на протилежний усередині кожного бітового інтервалу, то завмирання сигналу на одному з рівнів у межах одного інтервалу можна вважати ознакою помилки.

Для обробки помилок використаний алгоритм, який є найбільш оптимальним саме у силовому перетворювачі. У разі помилки в каналі приймач відновлює попередній валідний кадр. Запит про повторну передачу даних не передбачений, що є виправданим в обох наступних варіантах:

1. Канал працює швидше, ніж блоки власне силового перетворювача. Існує можливість передати, наприклад, одну вибірку з давачів кілька разів, оскільки канал виконує обмін безперервно. У разі помилки відновлюється останнє валідне значення, а нове валідне приймається наступного разу. В такому випадку алгоритм роботи силового перетворювача ніяк не порушується, якщо не брати до уваги затримки в один кадр, що є досить малою у порівнянні із швидкістю роботи власне силового перетворювача.

2. Канал не працює швидше, ніж блоки перетворювача, і тому одну вибірку можливо передати лише один раз. Виконувати запит про повторну передачу недопустимо, оскільки необхідно прийняти наступне значення. Таким чином, найбільш ефективне рішення – це проігнорувати невалідний кадр, замінивши його попереднім валідним, і потім отримати наступну вибірку. У цьому випадку також спостерігатиметься затримка на один кадр, що суттєво не вплине на роботу перетворювача.

Така послідовність сигналів може бути отримана на виході портів інтегральної схеми як послідовність логічних рівнів, а введення інформації може виконуватись як детектування логічного рівня. Тому для реалізації каналу на фізичному рівні буде достатньо до-

дати до системи оптичний трансивер, що керується ТТЛ-рівнями. Для вирішення поставленої задачі широкого розповсюдження набули оптичні збірки-трансивери, які можуть бути інтегровані у систему. До їх складу входить лазерний випромінювач, мікросхема-драйвер для керування ним та фотоприймач, що дозволяє отримати на виході сигнали ТТЛ-рівнів. Канал дозволяє виконувати обмін даними на великій швидкості, що є важливим, оскільки на сьогодні спостерігається тенденція до збільшення чутливості та точності давачів, а також до зростання частот комутації напівпровідникових ключів.

Моделювання впливу завад. У процесі моделювання виконано порівняння стійкості перетворювача до завад під час використання нового розробленого протоколу і стандартного протоколу, що використовує метод кодування Manchester II, проте не виконує детектування помилок, а періодично зчитує рівні отриманого сигналу, обробляючи невалідні кадри так само, як і валідні.

Модель включає в себе дві однакові системи, розроблені за принципами, що описані вище. На обидві системи з різними протоколами наводилися однакові сигнали завад, спектри яких зображені на рис. 4. Імпульси підібрані таким чином, щоб, з одного боку, зробити невалідними частину пакетів у каналі, що імітує вплив реальних завад, які могли б наводитись на канал передачі даних, а з іншого, сигнал має такий спектральний склад, який є найбільш вірогідним для завад, що виникають внаслідок комутації напівпровідникових ключів (найбільш виражені спектральні складові співпадають із частотою роботи перетворювача).

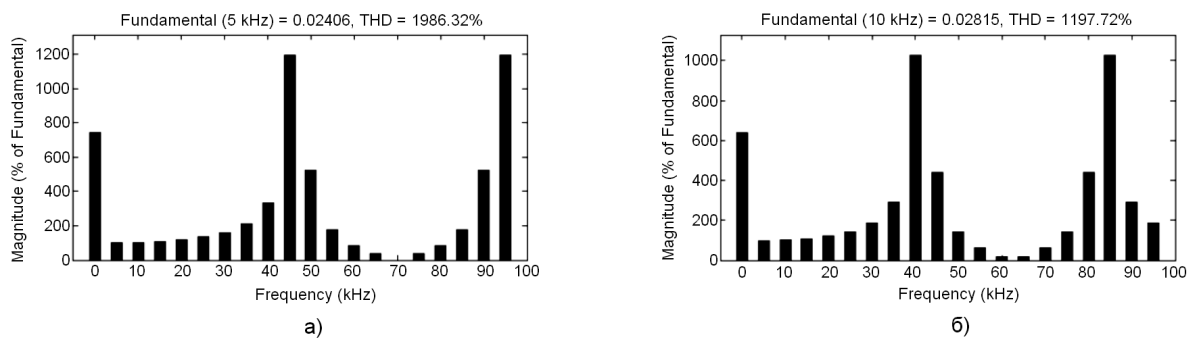


Рис. 4. Спектри сигналів завад, що наводились на лінії каналу передачі даних: у лінії вихідних сигналів системи керування перетворювачем (а); у лінії вхідних сигналів для системи керування перетворювачем (б)

З осцилограм процесу регулювання вихідного параметра перетворювача (рис. 5) легко бачити, що під час наведеного рівня завад робота перетворювача зі стандартним протоколом порушується, в той час, як перетворювач із запропонованим протоколом функціонує коректно.

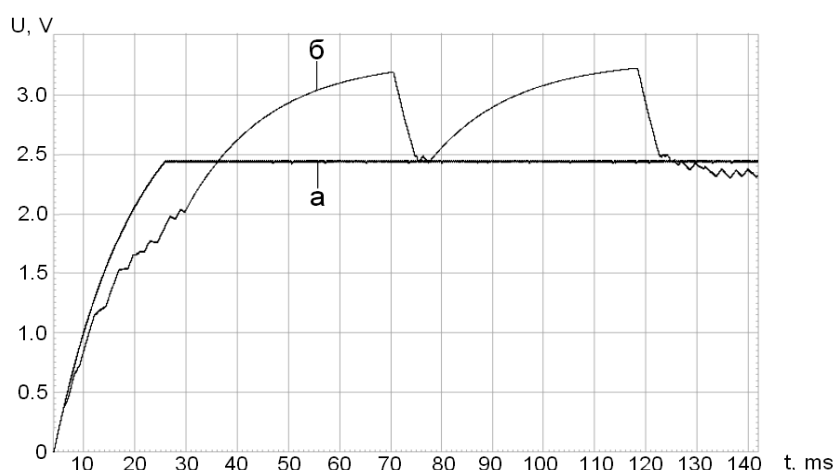


Рис. 5. Процес регулювання вихідної величини перетворювача: з новим розробленим протоколом (а); зі стандартним протоколом (б)

Слід зазначити, що такий рівень завад є аварійним режимом роботи системи (втрачено половину пакетів), і подібні режими роботи на практиці допускаться не повинні.

Експериментальні характеристики інтерфейсу. Для дослідження експериментальних характеристик створено лабораторний макет силового перетворювача з інтегрованим завадостійким інтерфейсом передачі даних між системою керування та силовою частиною. Лабораторний макет являє собою понижувальний DC/DC-перетворювач [6; 7] (рис. 6), у якому система керування та силова частина виконані у вигляді окремих блоків, що мають роздільні джерела живлення.

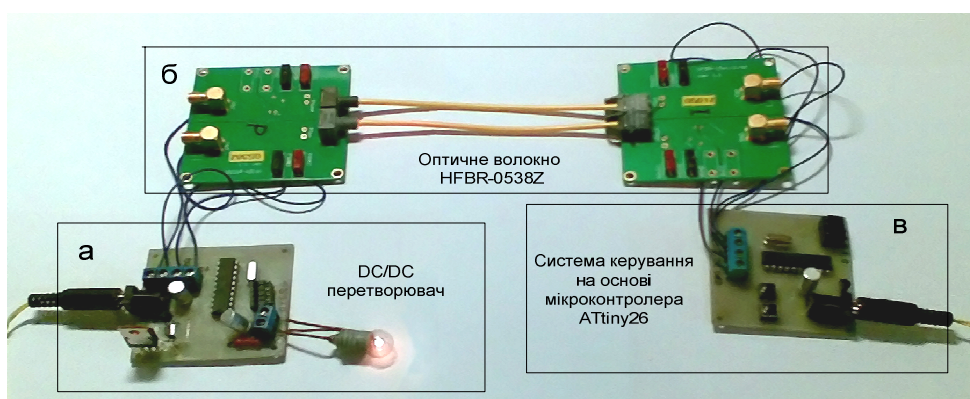


Рис. 6. Фотографія експериментального зразка системи: силова частина перетворювача (а); канал передачі даних (б); система керування перетворювачем (в)

Комунікація між цими двома блоками здійснюється за допомогою розробленого у ході роботи оптичного каналу передачі даних за описаним вище протоколом. Система керування циклічно формує і передає вихідний кадр, що містить інформацію про коефіцієнт заповнення ШІМ, далі очікує на вхідний кадр. Якщо кадр прийнято без помилок, виконується формування закону регулювання силового перетворювача, і результат буде переданий у наступному циклі. У випадку помилки замість отриманого кадру підставляється значення попереднього валідного кадру і всі наступні операції виконуються з ним.

Схожий алгоритм для комунікації реалізований і в силовій частині перетворювача. Проте, якщо блок керування не отримує вхідного кадру протягом певного часу, відбувається перезавантаження пристрою: вимкнення навантаження і спроба відновити зв'язок (таким чином, один блок чекає відповіді від другого). Те ж саме відбудеться при прийомі великої кількості невалідних кадрів.

Для дослідження експериментальних характеристик реального оптично-волоконного каналу були зняті осцилограми із входів та виходів оптичних трансиверів (рис. 7, 8).

Характер спотворень сигналів на виходах лінії свідчить про те, що на комунікацію чинять негативний вплив лише такі фактори, як обмежена швидкодія оптичних елементів (час реакції випромінювача та фотоприймача) та ємності в електричних колах каналу (зменшена швидкість зміни сигналів). Спотворень іншого характеру не спостерігається.

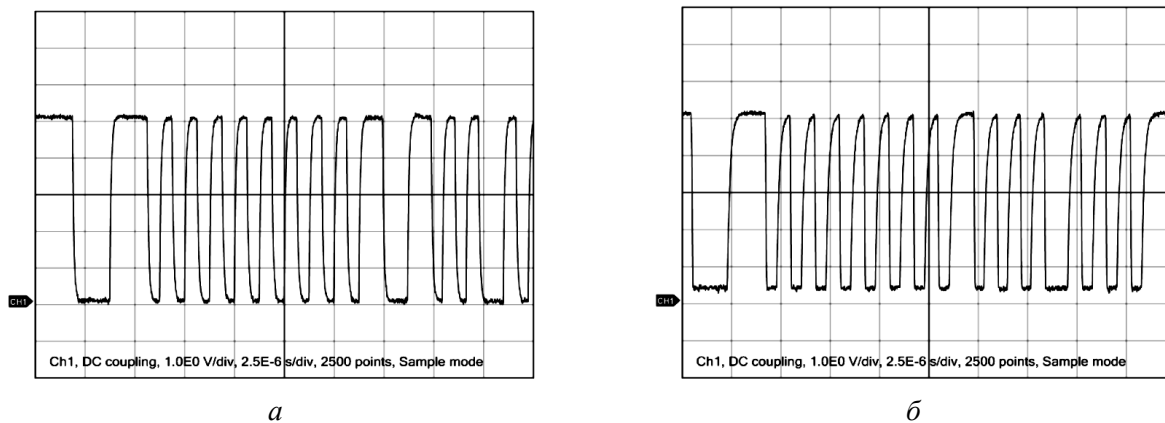


Рис. 7. Вхідні дані для системи керування: вхід оптичного трансмітера (а); вихід оптичного ресивера (б)

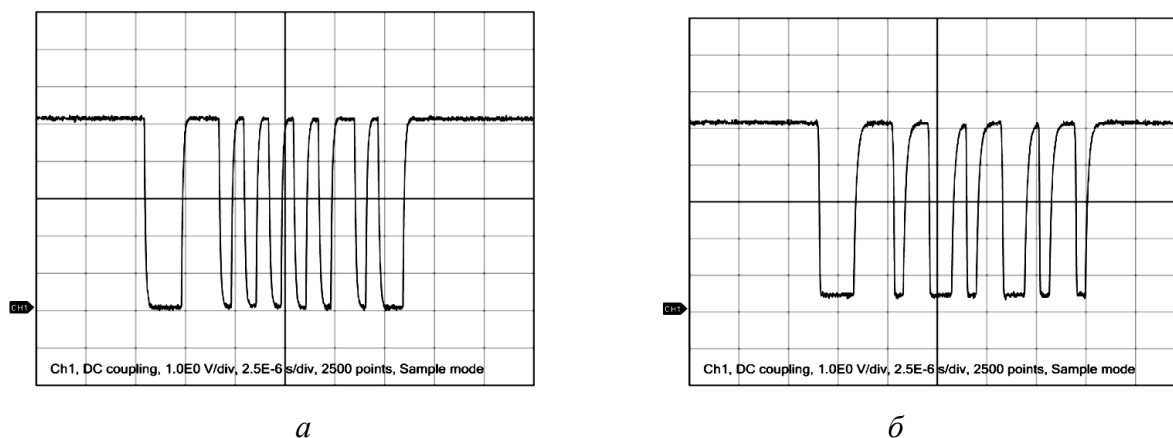


Рис. 8. Вихідні дані системи керування: вхід оптичного трансмітера (а); вихід оптичного ресивера (б)

Для дослідження впливу паразитних параметрів кабелю була виконана спроба з'єднати обидва блоки перетворювача за допомогою витих пар. Після аналізу спотворень сигналу в лінії можна зробити висновок, що в каналі проявився вплив цих параметрів, помічені перехідні процеси та коливання, у кабелі виникли хвильові процеси (рис. 9). Легко бачити негативний вплив двох ліній передачі даних одна на одну. Помітно збільшення рівня завад (шуму), які наводяться на канал ззовні.

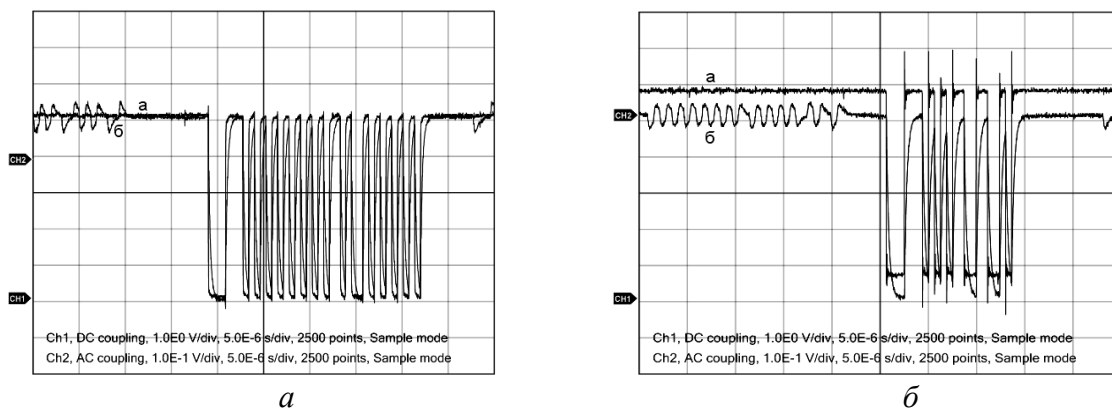


Рис. 9. Вхідні дані (а) для системи керування (а – вхід лінії, б – вихід лінії) та вихідні дані (б) системи керування (а – вхід лінії, б – вихід лінії)

Експериментальні дослідження системи підтвердили, що найбільш вразливою до завад частиною подібного перетворювача є канал передачі даних. Проблема завад у межах одного блоку (вплив перетворювача на інтерфейсні елементи каналу) може бути усунена конструктивно та схемотехнічно: стабільність живлення та захист від завад по живленню мікросхеми логіки каналу може забезпечити стабілізатор живлення та фільтрувальні конденсатори; вірогідність збою тактування може зменшити використання трививідних екранованих кварцевих резонаторів; екранування та заземлення чутливих ліній зменшить вплив завад від самого перетворювача на ці лінії; правильне трасування та розміщення чутливих елементів схеми якомога далі від силових елементів також збільшує завадозахищеність. Проте сам канал передачі даних залишається недостатньо захищеним від завад.

У цій роботі експериментальним шляхом доведено переваги використання розробленого каналу передачі даних з новим протоколом та оптично-волоконним середовищем передачі даних. Слід зазначити, що цей експериментальний зразок – це лише один із варіантів конструкції, що обирався для цієї системи із заданого співвідношення вартості та швидкодії, проте принципи побудови подібних систем він розкриває повною мірою.

Висновки. У цій роботі вирішене актуальне наукове завдання покращення якості функціонування силових перетворювачів за рахунок розробки оптимального завадостійкого інтерфейсу передачі даних між системою керування і силовою частиною перетворювача. Для вирішення проблеми запропоновано новий інтерфейс передачі даних, що розрахований спеціально для використання у силових перетворювачах. Завадостійкий та швидкісний канал, що використовує як середовище передачі даних оптичне волокно, та досить завадостійкий протокол, який проте має меншу збитковість, ніж схожі стандартні типи, дали змогу встановити стійку комунікацію між блоками силового перетворювача.

Список використаних джерел

1. *Muhammad H. Rashid.* Power Electronics Handbook. Devices, Circuits and Applications. ACADEMIC PRESS, 2006. – 1172 p.
2. *Харкевич А. А.* Борьба с помехами / А. А. Харкевич. – Изд. второе, исправл. – М. : Наука, 1965. – 275 с.
3. *Пасковатый О. И.* Электрические помехи в системах промышленной автоматки / О. И. Пасковатый. – М. : Энергия, 1973. – 104 с.
4. *Савчук В. Л.* Электронные средства сбора, обработки и отображения информации : учеб. пособие / В. Л. Савчук. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 174 с.
5. *Кларк Дж.* Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи: пер. с англ. / Дж. Кларк, Дж. Кейн. – М. : Радио и связь, 1987. – 392 с. – (Стат. Теория связи).
6. *Семенов Б. Ю.* Силовая электроника: профессиональные решения / Б. Ю. Семенов. – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2011. – 416 с.

7. *Денисов Ю. А.* Стабилизаторы постоянного напряжения с широтно-импульсными и частотно-импульсными квазирезонансными преобразователями / Ю. А. Денисов. – К. : Ин-т электродинамики НАН Украины, 2001. – 146 с.