

ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ У СТРУКТУРАХ ІЗ БЕЗПРОВОДОВИМИ КАНАЛАМИ

В.М. Бакіко*, П.В. Попович**, В.Б. Швайченко***

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна.

E-mail: vbs2011@ukr.net

Визначено особливості проблеми електромагнітної сумісності напівпровідникових перетворювачів, обумовлені заводою обставиною в процесі роботи систем з безпроводовим каналом. Проведено моделювання процесу передачі інформації в сучасних і перспективних каналах технологій GSM, WiFi, WiMAX у разі впливу завод із різними імовірнісними характеристиками. Наведено імітаційні моделі прикладної програми Matlab з урахуванням особливостей каналів зв'язку, видів модуляцій та законів розподілу завод. Показано, що достовірність передачі істотно залежить від особливостей закону розподілу завод. Запропоновано рекомендації щодо вдосконалення структур систем із передаванням інформації за перспективними технологіями. Бібл. 5, рис. 5.

Ключові слова: безпроводове передавання, електромагнітна сумісність, звукотехнічна система, імітаційне моделювання, напівпровідникові перетворювачі.

Вступ. Особливості проблеми електромагнітної сумісності (ЕМС), обумовлені ключовими режимами роботи напівпровідникових перетворювачів (НПП) [5] у структурах, призначених для обробки та передавання інформації, зокрема в аудіовізуальних системах, поглиблюються у разі застосування безпроводового каналу. При цьому для підвищення енергоефективності, крім застосування спеціальних режимів роботи електронних систем, орієнтованих на тимчасове зменшення енергоспоживання, застосовують напівпровідникові перетворювачі, які працюють на високих частотах з використанням для керування елементів штучного інтелекту, без проводових каналів передачі даних і підключення до інтернету, реалізуючи технологію віддаленого керування через мережу інтернету – інтернету речей [2]. Схемотехніка таких перетворювачів визначається багатьма факторами, одним з яких є можливість інтелектуального керування режимами роботи. Рівні завод цих перетворювачів нормовані для забезпечення електромагнітної сумісності [5], проте реальна електромагнітна обставина може бути недружною і навіть невеликий допустимий внесок у критичній смузі частот сумарного електромагнітного поля може погіршити якість переданого контенту. Це зумовлено особливістю НПП, оскільки збільшення рівня завод випромінювання в допустимих межах унормовано за їхнього безпосереднього впливу у сприятливому електромагнітному оточенні, однак долучення внеску наведення у кондуктивні шляхи поширення завод від НПП, які є суттєвими джерелами кондуктивних завод, якщо працюють у ключовому режимі з перемиканням на високих частотах, саме і спричиняють погіршення переданого контенту. Тому окремого дослідження потребує оцінка взаємного впливу завод на такі структури з безпроводовим інтерфейсом.

Необхідно зазначити, що навіть у разі дозволеного рівня емісії завод кондуктивними шляхами в провідниках таких пристроїв можуть виникати завади випромінювання в ближньому полі, причому відомі методики перевірки пристроїв на вимоги електромагнітної сумісності проводять на відстані 3 або 10 м від вимірювальної антени [5], а в реальних умовах контур з друкованих провідників як антена може перебувати на тій самій платі на відстані до 0,5 м, де і розташовані елементи НПП або джерела вторинного електроживлення з інтелектуальним впливом на рівні завод, що генерує НПП. Можливості, які надає сучасний інтернет, були розширені впровадженням голосових віртуальних сервісів управління, розроблених провідними виробниками обчислювальної техніки, наприклад, Siri, Google Now, Google Assistant, Amazon Echo, Microsoft Cortana [4].

Застосування інтелектуальних сервісів, зокрема в smart-телевізорах та smart-гучномовцях з передаванням безпроводовим шляхом контенту виявили проблему впливу завод випромінювання на завади від НПП та джерел живлення з високочастотним перетворенням енергії. Найбільш поширеними каналами передачі для таких пристроїв на сьогодні є канали технологій WiFi, WiMAX і GSM [1], проте напрямок на інтеграцію в рамках перспективних технологій дає змогу припустити можливість і необхідність не тільки вибору найменш зашумленого каналу з нормованого пулу частот для конкретної технології, а й перехід для поліпшення якості відтвореного звуку на інший частотний діапазон та зміну способу кодування і модуляції з застосуванням найбільш перспективної за критерієм ЕМС безпроводової технології.

У зв'язку з тим, що теоретичні дослідження таких проблем достатньо складні та потребують врахування розподіленого характеру параметрів елементів, а сучасні прикладні програми імітаційного моделювання до-

© Бакіко В.М., Попович П.В., Швайченко В.Б., 2019

ORCID ID: * <http://orcid.org/0000-0003-1019-3910>; ** <http://orcid.org/0000-0002-1572-3127>;

*** <http://orcid.org/0000-0001-9736-0800>

статньо потужні і містять вже відпрацьовані бібліотеки адекватних моделей, актуальною є задача дослідження впливу завод напівпровідникових перетворювачів з різним законом розподілу на передавання контенту з використанням безпроводових технологій GSM, WiMAX та Wi-Fi в сучасних мультимедійних smart-системах із НПП, таких, як гучномовці та телевізори.

Мета роботи. Оцінка впливу статистичного закону розподілу завади, генерованої сучасними транзисторними перетворювачами напруги, у структурах із безпроводовими каналами на якість переданого контенту. В програмному середовищі MATLAB Simulink побудовано відповідні моделі приймально-передавальних трактів із використанням елементів бібліотеки Communication System Toolbox [3]. Для моделювання використано музичну композицію *Hard As A Rock* у стерео форматі, збережену у вигляді mp3 файла, що є одним із найбільш поширених сценаріїв передавання інформації через безпроводові канали зв'язку. Нижче наведено опис процедури та результати імітаційного моделювання.

Моделювання фрагмента переданих даних. Для введення даних із звукового файла в середовище Simulink використано блок для підключення зовнішніх мультимедійних файлів *From Multimedia File*. Оскільки аудіофайл із двома стереоканалами має формат даних двовимірної матриці, то для її перетворення в одновимірну матрицю застосовано відповідне узгодження, як показано на рис. 1. Блок каналу передавання містить три складові, кожна з яких додає заваду із заданим законом розподілу: нормальним (*AWGN*), який найбільш поширений для типових НПП, логнормальним (*LogNorm*), притаманим НПП із специфічною конструкцією, що призводить для багаторазового перевідбиття завод випромінювання, та рівномірним (*Uniform*), як найменш поширеного (рис. 2).

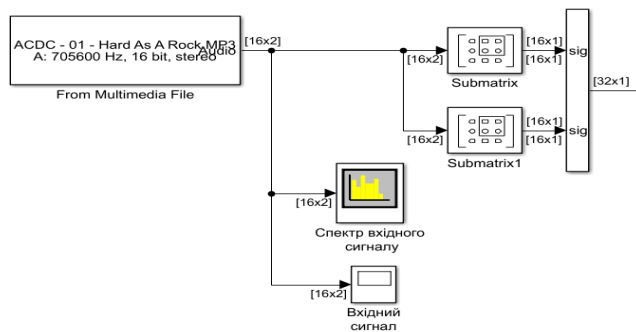


Рис. 1

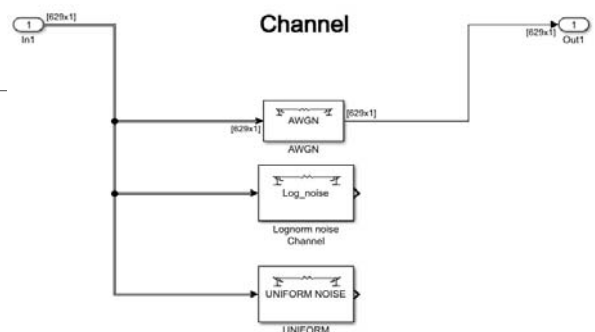
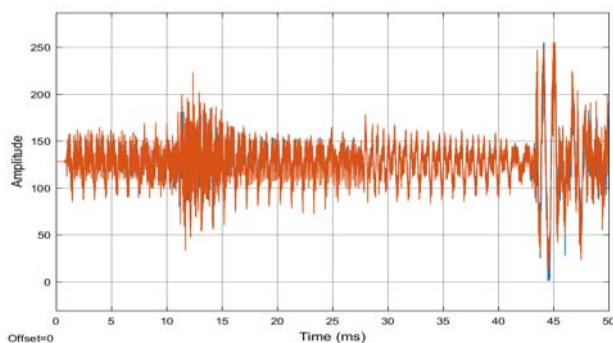
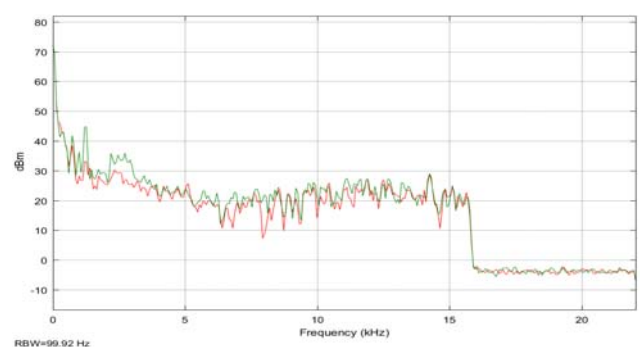


Рис. 2

Як тестовий сигнал мультимедійних систем було застосовано для двоканального випадку стереозвук, часову діаграму для одного каналу та спектр фрагмента переданих даних, які представлено на рис. 3, а та 3, б відповідно.



а



б

Рис. 3

Модель працює з даними певної розмірності у двійковому форматі. Для узгодження цих форматів та розмірності даних використано блоки *Uniform Encoder*, *Data Type Conversion* та *Convert bytes bits* з бібліотеки Simulink. Тому звуковий файл з двома стереоканалами перетворено у два файли з монофонічним каналом кожний. Блоки *Bit to Integer Converter*, *Uniform Decoder* необхідні для узгодження форматів та розмірності даних, що передаються. Для розділення одного потоку на 2 окремих канали використано блок демультиплексора *Demux*.

Особливості моделей безпроводових каналів зв'язку. Модель для дослідження впливу завод з різними законами розподілу на передавання контенту за технологією GSM розроблено з використанням трактів, в яких застосовано елементи бібліотеки Communication System Toolbox [3]. Для формування пакетів довжиною 260

символів, які передають через канал GSM, застосовано блок узгодження, розташований на вході передавача. Блок передавача складається з двох частин: блока кодування та блока модуляції.

Для дослідження передавання контенту за технологією WiMAX використано модель фізичного каналу системи WiMAX «IEEE 802.16-2004 WirelessMAN-OFDM PHY Downlink». Модель доповнено блоком *From Multimedia File*, а також блоками, що узгоджують формати даних між вузлами моделі та приладами моніторингу для фіксації часових і частотних залежностей.

Передавальний та приймальний тракти моделі розроблено з використанням трактів, у яких застосовано елементи бібліотеки Communication System Toolbox [3]. У приймальному тракті застосовано алгоритм адаптивного контролю швидкості передавання, який дає змогу автоматично, в залежності від відношення сигнал-шум, перемикає схему модуляції та кодування.

Для дослідження передавання контенту за технологією Wi-Fi використано модель фізичного каналу системи Wi-Fi «IEEE 802.11b PHY», яка складається з передавальної частини, приймальної частини та калькулятора бітових помилок, що порівнює вхідний сигнал у двійковій формі з вихідним сигналом у двійковій формі та повертає відношення кількості помилково прийнятих бітів до загальної кількості переданих бітів (BER).

Блок приймача GSM містить блоки демодуляції та декодування, блок введення даних із текстового файлу та блоки узгодження з передавальним блоком WiMAX та блок виведення даних та узгодження Wi-Fi, а також калькулятор помилково переданих бітів BER обрано зі стандартної бібліотеки Communication System Toolbox [3]. У цих моделях блок, що імітує канал передавання з впливом завад від напівпровідникових перетворювачів з нормальним (AWGN), рівномірним (Uniform) та логнормальним (LogNorm) законами розподілу, має структуру, обрану з використанням трактів з елементами бібліотеки Communication System Toolbox [3], з долученими завадами з різними законами розподілу згідно з рис. 2.

Результати моделювання. Використовуючи представлені моделі приймально-передавальних трактів GSM, WiMAX та Wi-Fi, отримано залежності величини BER від відношення сигнал-шум (SNR) для нормального (AWGN), рівномірного (Uniform) та логнормального (LogNorm) законів розподілу завад у каналі (рис. 4, а–в). Під час моделювання прийнято такі параметри законів розподілу: для нормального розподілу $\mu = 0$ та $\sigma^2 = 1$, для рівномірного розподілу $a = -1$ та $b = 1$, для логнормального розподілу $\mu = 0$ та $\sigma^2 = 1$, що охоплює діапазон частот, де нормують вплив завад, характерних для НПП. Встановлено, що модель приймально-передавального тракту системи WiMAX працює некоректно під час адаптивного перемикавання схем модуляції за низьких значень SNR (6–8 дБ), а це призводить до короткочасного зростання значення BER у разі зниження значення SNR. Для трьох аналізованих законів розподілу за рис. 4 найбільший внесок у збільшення помилок передавання характерний для логнормального закону, а найгірша за критерієм забезпечення EMC НПП є широко поширена технологія Wi-Fi.

На рис. 5 наведено приклад часових діаграм (а, в, д) та спектра (б, г, е) переданого контенту каналом системи GSM відповідно для законів розподілу завад нормального, логнормального та рівномірного за умови $SNR = 8$ дБ, що відповідає значенню $BER = 1,3 \cdot 10^{-4}$ – для каналу з нормальним розподілом, значенню $BER = 0,027$ – для каналу з логнормальним розподілом та значенню $BER = 0$ – для каналу з рівномірним розподілом. Значення SNR обрано для наглядної візуалізації впливу закону розподілу завади у каналі на зміну характеристик сигналу у часі.

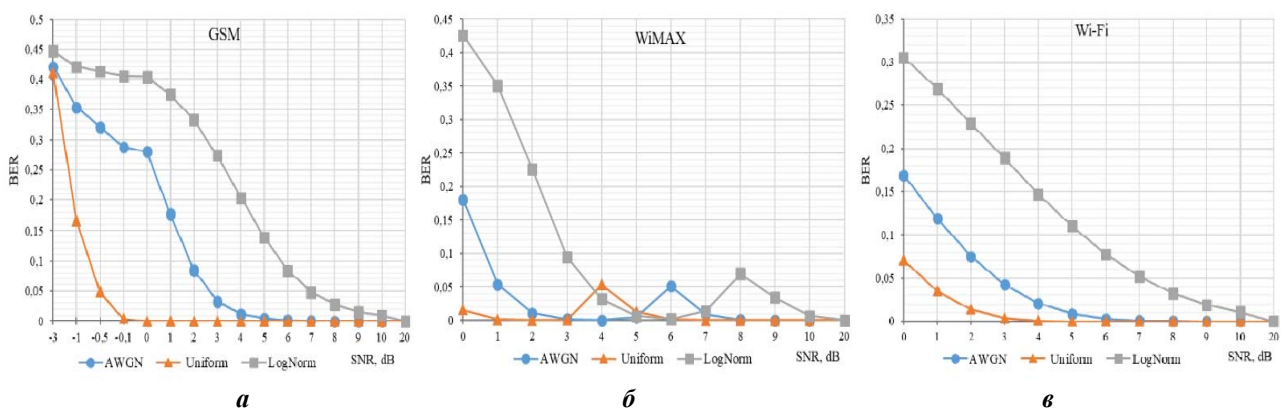


Рис. 4

Осцилограми на рис. 5 ілюструють безпосередньо спричинені законом розподілу завад для кращої за критерієм забезпечення EMC технології GSM спотворення часових характеристик переданого контенту та відповідного зростання рівня завад за спектрограмами, навіть за критерієм мінімального рівня між максимумами, а саме від 10 до 33 дБ. Сигнал за умови впливу завад з логнормальним законом розподілу (форма сигналу на рис. 5, в) повністю зашумлений, рівень помилок у сигналі $BER = 0,027$ занадто високий та не дає змоги системі функціонувати коректно, про що свідчить порівняння з двома іншими осцилограмами (рис. 5, а, 5, д).

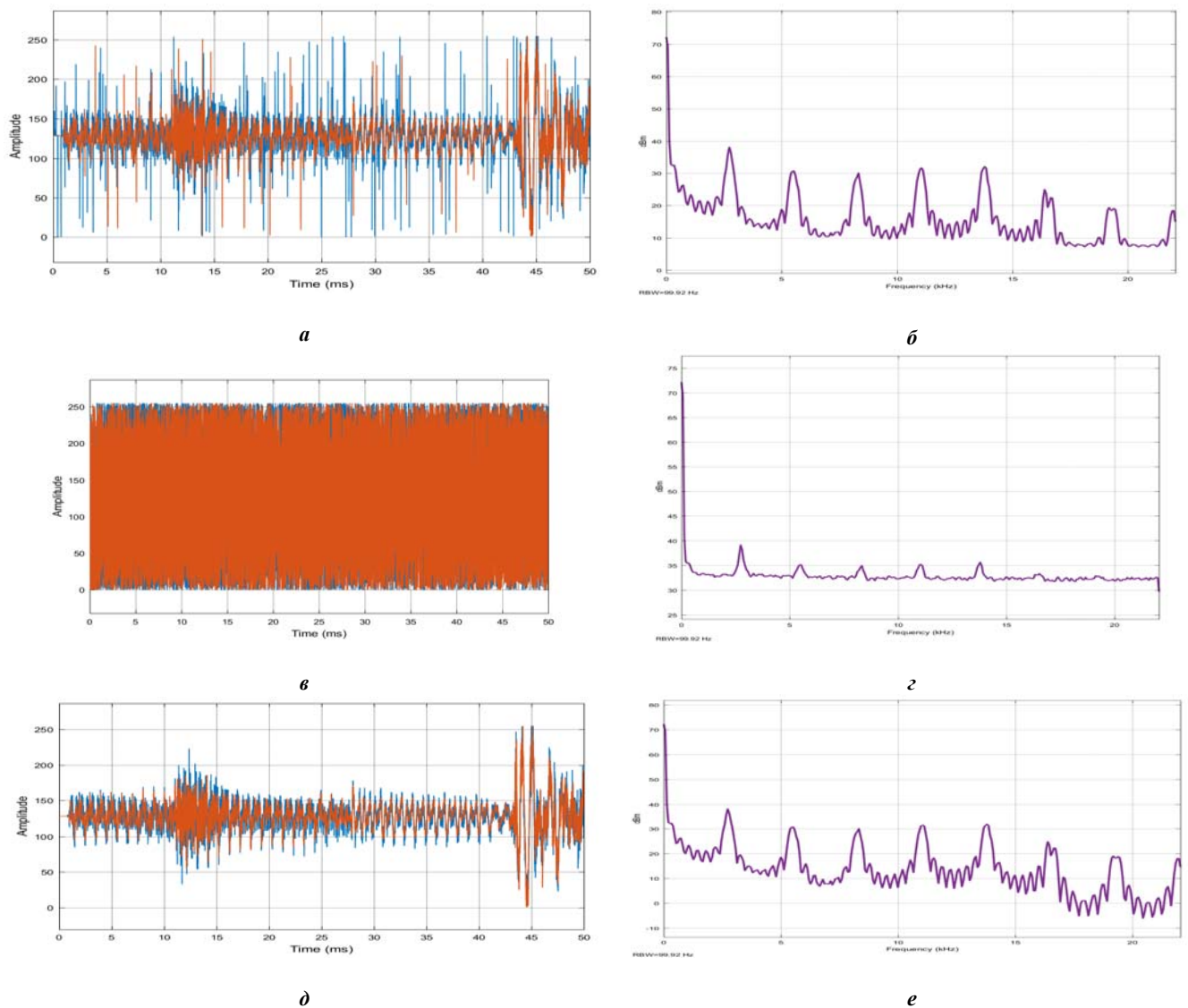


Рис. 5

Висновки.

Найбільший вплив завад від НПП спостерігається у каналі за умови логнормального розподілу, що потребує ретельного екранування як самих перетворювачів, так і їхніх чутливих елементів, а найменший – у каналі з впливом завад із рівномірним розподілом. Більш стійкими до впливу завад є системи з ортогональним частотним мультиплексуванням OFDM такі, як WiMAX, Wi-Fi (801.11a, g, n, ac), що необхідно враховувати у разі вибору методів віддаленого керування перетворювачами.

Таким чином, доведено необхідність моніторингу електромагнітної обстановки і визначення статистичних параметрів завад, які діють у каналах передавання НПП із безпроводовим інтерфейсом для формування вибору технології передавання, зокрема Long Term Evolution (LTE), за критерієм електромагнітної сумісності напівпровідникових перетворювачів електроенергії.

1. Денбновецький С.В., Мельник І.В., Писаренко Л.Д. Кодування сигналів в електронних системах. Ч.1. Параметри сигналів і каналів зв'язку та методи їх оцінювання. К.: Кафедра, 2016. 524 с.
2. Довженко О.О., Швайченко В.Б., Шарадга О. Моделювання електромагнітних процесів перетворювальних пристроїв, що спричиняють електромагнітні завади. *Електроніка і зв'язь*. № 3. 2011. С. 210-215.
3. Дьяконов В.П. Matlab и Simulink для радиоинженеров. М.: ДМК-Пресс, 2011. 976 с.
4. Зеньков А. 10 виртуальных ассистентов: обзор. URL: <https://rb.ru/list/from-siri-to-ozlo> (Дата звернення 14.01.2018).
5. CISPR 22 Edition 6.0 2008-09 IEC STANDARDS. Information technology equipment-Radio disturbance characteristics-Limits and methods of measurement

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В СТРУКТУРАХ С БЕСПРОВОДНЫМИ КАНАЛАМИ

В.Н. Бакико, П.В. Попович, В.Б. Швайченко

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. И. Сикорского», пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина.

E-mail: vbs2011@ukr.net

Определены особенности проблемы электромагнитной совместимости полупроводниковых преобразователей, обусловленные помеховой обстановкой в процессе работы систем с беспроводным каналом. Проведено моделирование процесса передачи информации в современных и перспективных каналах технологий GSM, Wi-Fi, WiMAX при воздействии помех с различными вероятностными характеристиками. Приведены имитационные модели прикладной программы Matlab с учетом особенностей каналов связи, видов модуляций и законов распределения помех. Показано, что достоверность передачи существенно зависит от особенностей закона распределения помех. Предложены рекомендации по совершенствованию структур систем с передачей информации по перспективным технологиям.

Библ. 5, рис. 5.

Ключевые слова: беспроводная передача, электромагнитная совместимость, звукотехническая система, имитационное моделирование, полупроводниковые преобразователи.

FEATURES OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF SEMICONDUCTOR CONVERTERS IN STRUCTURES WITH WIRELESS CHANNELS

V.M. Bakiko, P.V. Popovich, V.B. Shvaichenko

National Technical University of Ukraine Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, pr. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine.

E-mail: vbs2011@ukr.net

The features of the problem of electromagnetic compatibility of semiconductor converters, caused by the disturbance situation in the process of operating systems with a wireless channel, are determined. The simulation of the process of transmitting information in modern and future channels of the GSM, Wi-Fi, WiMAX technologies under the influence of interference with various probabilistic characteristics has been carried out. Simulation models of the Matlab application program are given, taking into account the features of communication channels, modulations and law of distribution of interference. It is shown that the reliability of the transmission significantly depends on the features of the law of distribution of interference. Recommendations for improving the structure of systems with the transfer of information on promising technologies are proposed. References 5, figures 5.

Key words: wireless transmission, electromagnetic compatibility, audiosystem, simulation, semiconductor converters.

1. Denbnovetsky S.V., Melnyk I.V., Pisarenko L.D. Coding of signals in electronic systems. Part 1. Parameters of signals and channels of communication and methods of their evaluation. Kyiv: Kafedra, 2016. 524 p. (Ukr)
2. Dovzhenko O.O., Schweichenko V.B., Charadha O. Modeling of electromagnetic processes of transforming devices causing electromagnetic interference. *Elektronika i sviaz*. 2011. No 3. Pp. 210-215. (Rus)
3. Dyakonov V. Matlab and Simulink for radioengineering. Moskva: DMK-Press, 2011. 976 p. (Rus)
4. Zenkov A. 10 Virtual Assistants: Overview. URL: <https://rb.ru/list/from-siri-to-ozlo> (accessed 14.01.2018).
5. CISPR 22 Edition 6.0 2008-09 IEC STANDARDS. Information technology equipment-Radio disturbance characteristics-Limits and methods of measurement.

Надійшла 02.03.2018
Остаточний варіант 25.02.2019