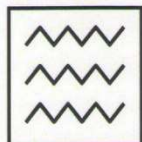




НУВГП

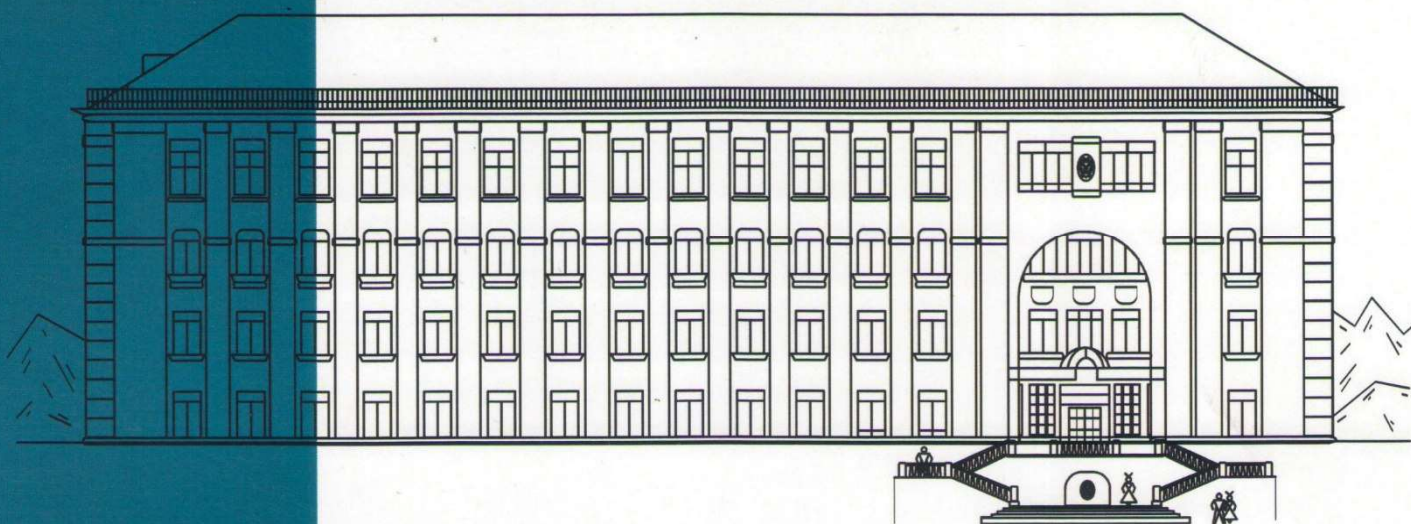


Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

# ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ КОНФЕРЕНЦІЇ

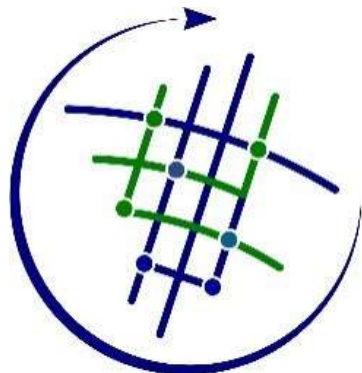
ЧЕТВЕРТА  
ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА  
ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЯ  
«ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗВИТКУ  
МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ЕФЕКТИВНОГО  
ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ  
СИСТЕМ»

*26-27 КВІТНЯ 2023 року*



Рівне 2023

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**КАФЕДРА ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ**



**INTERMARIUM**  
FUNDACJA

**IV ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА**  
**ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЯ**

**У СПІВПРАЦІ З ФОНДОМ INTERMARIUM**

**«ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА**  
**ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ»**

**26–27 КВІТНЯ 2023 р.**

**РІВНЕ – 2023**

УДК 621:656.13:347.763:378:001.895

I–66

**Рецензенти:**

**Савіна Н. Б.**, проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків Національного університету водного господарства та природокористування, д.е.н., професор;

**Сорока В. С.**, проректор з науково-педагогічної та навчальної роботи Національного університету водного господарства та природокористування, к.с.-г.н., доцент;

**Марчук М. М.**, директор навчально-наукового механічного інституту Національного університету водного господарства та природокористування, к.т.н., професор;

**Кравець С. В.**, д.т.н., професор кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання Національного університету водного господарства та природокористування;

**Кристончук М. Є.**, к.т.н., доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу Національного університету водного господарства та природокористування;

**Козяр М. М.**, д.пед.н., професор, завідувач кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства Національного університету водного господарства та природокористування.

*Рекомендовано вченю радою Національного університету водного господарства та природокористування.*

*Протокол № 5 від 26 травня 2023 р.*

Відповідальний за випуск:

*Никончук В. М.*, д.е.н., в.о. завідувача кафедри транспортних технологій і технічного сервісу Національного університету водного господарства та природокористування.

**I–66** Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали тез IV Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції 26–27 квітня 2023 р. [Електронне видання]. – Рівне: НУВГП, 2023. – 196 с.

**ISBN 978-966-327-554-3**

У збірнику представлені теоретичні та практичні результати напрацювань в царині інноваційних технологій в машинобудуванні, ефективного функціонування транспортних систем, логістичного забезпечення транспортних процесів, конструювання, технічної експлуатації і ремонту транспортних засобів, а також вітчизняного та зарубіжного досвіду підготовки фахівців у закладах вищої освіти, виконаних науково-педагогічними та науковими працівниками, докторантами, аспірантами та студентами закладів освіти, науки та інших організацій.

**УДК 621:656.13:347.763:378:001.895**

**ISBN 978-966-327-554-3**

© Національний університет водного господарства та природокористування, 2023

<b>Плекан Уляна Цьонь Олег</b>	Внутрішній контроль логістичних процесів автотранспортного підприємства	101
<b>Постранський Микола Король Софія</b>	Тенденції зміни обсягів перевезення вантажів в Україні у період 2017–2021 років	103
<b>Приходько Всеволод Вікович Ігор</b>	Ціноутворення на перевезення вантажів великогабаритними автопоїздами	105
<b>Семенюк Назар Сорока Валерій</b>	Порівняння транспортних коридорів на основі загальних економічних витрат	108
<b>Ткач Владислав</b>	Впровадження електронної черги у міжнародному пункті пропуску «Рава-Руська – Хребенне»: доцільність та можливість	115
<b>Швець Микола Михальчук Назарій</b>	Сторони логістики в ланцюгах постачань	117
<b>Шевчук Роман Пашкевич Світлана</b>	Поняття та особливості каршерингу	119
<b>Яценюк Микола</b>	Аналіз функціонування транспортних коридорів в Україні під час війни	121
<b>Яценюк Микола</b>	Функціонування та перспективи розвитку транспортної системи міста Рівне	124

### СЕКЦІЯ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ТА ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

<b>Воронков Олексій</b>	Модель технології транспортного процесу перевезення зернового збіжжя	126
<b>Демидов Денис Давидюк Віталій</b>	Організація досліджень транспортних потоків на перехрестях	128
<b>Нерубацький Володимир Хоменко Ігор Гордієнко Денис</b>	Дослідження та розрахунок рівнів вищих гармонік обертальних електричних машин в активно-адаптивних мережах	131
<b>Нерубацький Володимир Гордієнко Денис</b>	Система керування автоматизованим електроприводом постійного струму з частотно-імпульсним керуванням	135
<b>Пашкевич Світлана Денисюк Віктор</b>	Організація злагодженої роботи різних типів пасажирів транспорту в транспортно-пересадочних вузлах	139
<b>Півторак Галина Суслов Владислав</b>	Оцінка доступності транспортних районів міста в системі громадського транспорту	143
<b>Хітров Ігор</b>	До питання транспортного моделювання в програмному середовищі PTV VISSIM	145
<b>Яценюк Микола</b>	Імітаційне мікромоделювання та розробка моделі транспортних вузлів (динамічний розподіл в програмному середовищі Vissim)	146

УДК 621.314

## СИСТЕМА КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ЧАСТОТНО-ІМПУЛЬСНИМ КЕРУВАННЯМ

Володимир Нерубацький, Денис Гордієнко

*Український державний університет залізничного транспорту,  
майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050*

Використання перетворювачів постійного струму відіграє важливу роль у ряді галузей науки і техніки, таких як автоматизація промислових установок, електричний транспорт, зварювальні апарати, побутова техніка, радіоелектроніка, радіотехніка тощо [1]. У цих же галузях з'явилася потреба в електроенергії, що відрізняється від промислової за частотою, формою вихідної напруги або струму, кількістю фаз, можливістю регулювання параметрів електроенергії. Ці завдання найчастіше виникають при розробці регульованого електроприводу постійного і змінного струму, частка якого складає близько 60% всього споживання електроенергії країни.

З усіх відомих способів керування електроприводами наразі найкращим вважається спосіб керування із застосуванням широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) [2]. Для керування електроприводами постійного струму використовуються широтно-імпульсні перетворювачі (ШІП). Цей спосіб керування дає змогу сформувати необхідну форму і амплітуду напруги живлення двигуна, досягти високої плавності та більшого діапазону регулювання кутової швидкості при зміні навантаження в широких межах. Широтно-імпульсний модулятор є головним блоком системи керування широтно-імпульсного перетворювача. Широтно-імпульсний перетворювач перетворює постійну напругу в імпульсну, середнє значення якої (тобто її постійна складова, що виділяється у навантаженні фільтрами) можна регулювати. Принцип регулювання вихідної напруги ШІП заснований на періодичному замиканні та розмиканні вентильних ключів – транзисторів або тиристорів [3].

У перетворювачах високої напруги та великої потужності модулі біполярних транзисторів із ізольованим затвором (IGBT) стали одними з найбільш широко використовуваних силових напівпровідникових приладів. Однак стрімкий розвиток силової напівпровідникової техніки призводить до збільшення номінальної потужності та зменшення габаритів, що спричиняє неминучі проблеми з тепловиділенням силових електронних перетворювачів. Збільшення температури впливає на якість з'єднання припою та дрютяного зв'язку, що призводить до зменшення терміну служби силових напівпровідникових компонентів.

Втрати в імпульсному напівпровідниковому перетворювачі переважно створюються IGBT-транзисторами і діодами. До основних втрат відносяться статичні (втрати провідності) та динамічні (комутаційні) втрати. Статичні втрати виникають при включеному стані (або стійкому стані) IGBT-транзисторів. Динамічні втрати в IGBT-транзисторах відбуваються при переході з одного режиму, що встановився, в інший, тобто при переході від вимкненого стану до увімкненого (динамічні втрати увімкнення) і, навпаки, від увімкненого стану до вимкненого (динамічні втрати вимкнення).

Для зменшення динамічних втрат, а отже збільшення ККД імпульсного напівпровідникового перетворювача, можна використовувати інший метод керування, що ґрунтується на застосуванні частотно-імпульсної модуляції (ЧІМ) [4]. Спосіб керування з ЧІМ використовується у частотно-імпульсному перетворювачі (ЧІП).

Основні відмінності ЧІП від ШІП такі:

– тривалість імпульсу вихідної напруги ЧІП постійна (тривалість імпульсу вихідної напруги ШІП змінюється);

- період вихідної напруги ЧПП змінюється (період вихідної напруги ШПП постійний);
- вихідна частота ЧПП змінюється (вихідна частота ШПП постійна).

У середовищі Matlab з використанням блоків із бібліотеки Simulink / SimPowerSystem / Simscape змодельовано схеми ШПП та ЧПП, що наведено на рис. 1.

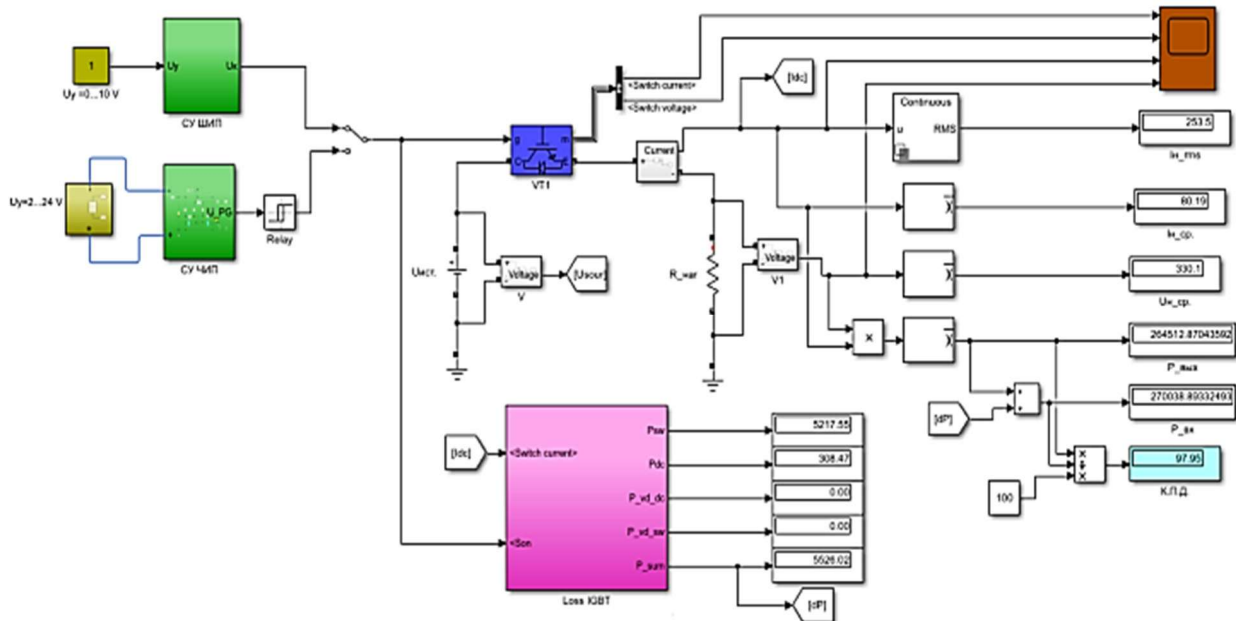


Рис. 1. Модель схеми імпульсного напівпровідникового перетворювача з ШПП та ЧПП керуванням

Моделі імпульсного напівпровідникового перетворювача з ШПП та ЧПП містять блок зміни шпаруватості, що регулюється за допомогою напруги керування. Напряга керування моделі ШПП регулюється в діапазоні від 0 до 10 В, а моделі ЧПП – від 2 до 30 В.

Систему керування моделі ШПП побудовано з використанням блоків з бібліотеки Simulink. Систему керування ЧПП побудовано з використанням елементів бібліотеки Simscape, що наведено на рис. 2.

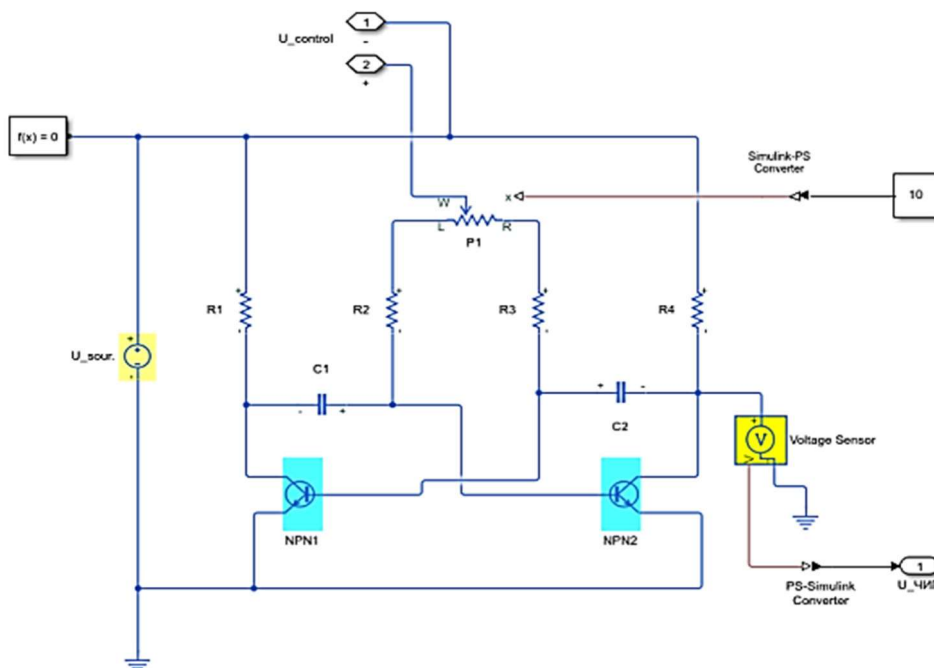


Рис. 2. Модель схеми системи керування ЧПП

На рис. 2 наведено блок силової схеми ЧП, що складається з силового напівпровідникового перетворювача, активного навантаження і силової ланки живлення, представлена у вигляді батареї з напругою 3300 В.

Як силовий напівпровідниковий перетворювач використовується IGBT-транзистор фірми MITSUBISHI типу CM800HC-66H, характеристики якого наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Основні характеристики IGBT-транзистора

Тип транзистора	$I_{c.n}, A$	$V_{ce.n}, B$	$V_{ce.sat}, B$	$E_{on}, Дж$	$E_{off}, Дж$
CM800HC-66H	8800	3300	3,6	1,1	11,05

Розрахунок втрат потужності IGBT-транзистора здійснюється різними методами. Найчастіше використовується розрахунок втрат потужності IGBT-транзистора методом апроксимації графіків втрат.

Апроксимація графіків втрат потужності IGBT-транзистора типу CM800HC-66H проведена за допомогою таких рівнянь:

$$U_{ce}(I_c) = -1,29 \cdot I_c^4 + 5,297 \cdot I_c^3 - 7,796 \cdot I_c^2 + 7,229 \cdot I_c + 0,86; \quad (1)$$

$$E_{on}(I_c) = -0,1002 \cdot I_c^3 + 1,237 \cdot I_c^2 + 0,5766 \cdot I_c + 0,138; \quad (2)$$

$$E_{off}(I_c) = 1,2243 \cdot I_c + 0,284. \quad (3)$$

Отримані математичні залежності досить точно описують енергетичні графіки втрат потужності IGBT-транзистора. Використовуючи цей метод розрахунку, можна визначити статичні, динамічні, сумарні втрати IGBT-транзистора та ККД перетворювача. Результати моделювання статичних втрат IGBT-транзистора наведено на рис. 3.

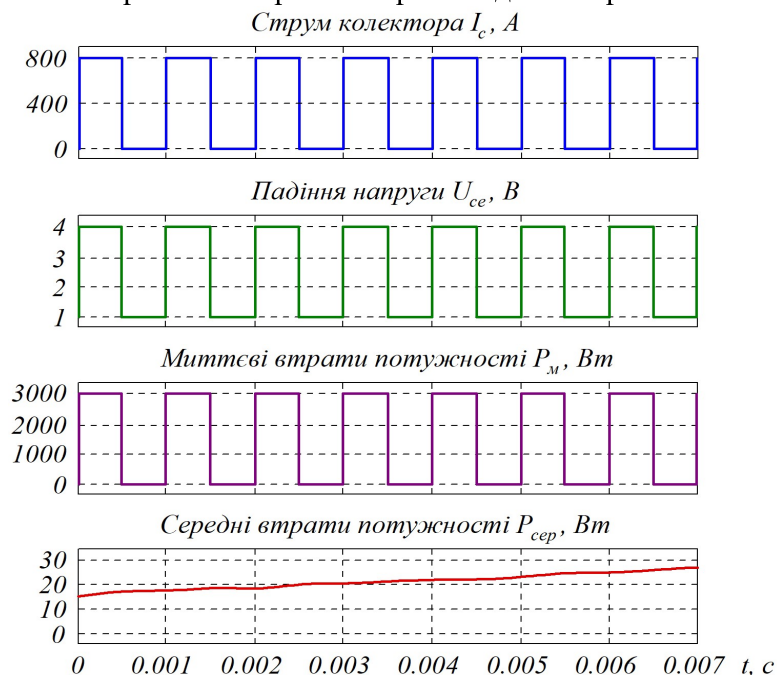


Рис. 3. Діаграми статичних втрат IGBT-транзистора типу CM800HC-66H

На рис. 4 наведено діаграми, де порівнюються динамічні втрати, а також ККД ШП та ЧП при частоті комутації 2 кГц.

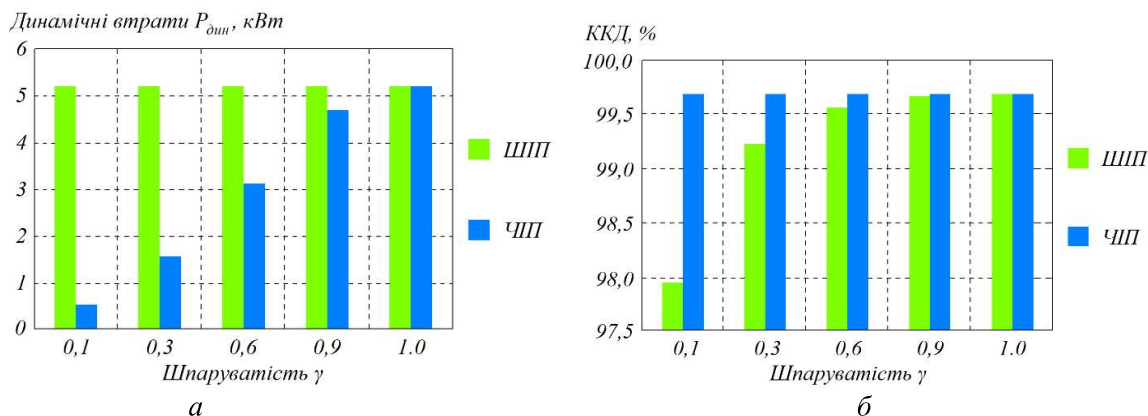


Рис. 4. Динамічні втрати IGBT-транзистора (а) та порівняння ККД ШПП і ЧПП (б)

Аналіз втрат, отриманих при моделюванні схем напівпровідникових перетворювачів у режимах ШПП і ЧПП при різній шпаруватості (відношення періоду проходження до тривалості імпульсу), наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати моделювання схем напівпровідникових перетворювачів у режимах ШПП і ЧПП

Шпаруватість $\gamma$	$f$ , кГц		$I_{сер}$ , кА	$I_{rms}$ , кА	$I_{нік}$ , кА	$P_{дин}$ , кВт		$P_{dc}$ , кВт	ККД, %	
	ШПП	ЧПП				ШПП	ЧПП		ШПП	ЧПП
1	2	2,0	0,80	0,80	0,80	5,217	5,217	3,078	99,69	99,6900
0,9	2	1,8	0,72	0,76	0,80	5,217	4,695	2,775	99,67	99,6890
0,6	2	1,2	0,48	0,62	0,80	5,217	3,130	1,850	99,56	99,6885
0,3	2	0,6	0,24	0,43	0,80	5,217	1,565	0,925	99,23	99,6880
0,1	2	0,2	0,08	0,25	0,80	5,217	0,521	0,308	97,95	99,6870

У ШПП при зміні шпаруватості від максимального значення у бік зменшення частота комутації не змінюється. При постійній частоті комутації динамічні втрати залишаються незмінними, що призводить до зменшення ККД перетворювача при низьких шпаруватостях.

У ЧПП в міру зменшення шпаруватості від максимального значення до мінімального значення частота комутації зменшується прямо пропорційно. Це призводить до зменшення динамічних втрат та значно меншого зниження ККД ЧПП у порівнянні з ШПП.

Проводячи аналіз отриманих характеристик перетворювачів, можна побачити, що при зміні шпаруватості від 0,1 до 0,5 ККД ЧПП значно перевищує ККД ШПП. Це перевищення сильніше відчувається за більшої частоти комутації перетворювачів. Наприклад, при шпаруватості 0,1 та частоті 2 кГц ККД ЧПП виходить на 1,737 % більше, ніж у ШПП; при 4 кГц ККД ЧПП виходить на 3,5% більше, ніж у ШПП.

1. Elmenshawy M., Massoud A. Multimodule DC-DC Converters for High-Voltage High-Power Renewable Energy Sources. *2019 2nd International Conference on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE)*. 2019. P. 1–6. DOI: 10.1109/SGRE46976.2019.9020690.

2. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D., Podnebenna S. Synthesis of a regulator recuperation mode a DC electric drive by creating a process of finite duration. *2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*. 2021. P. 272–277. DOI: 10.1109/UKRCON53503.2021.9575792.

3. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D. Adaptive Modulation Frequency Selection System in Power Active Filter. *2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*. 2022. P. 341–346. DOI: 10.1109/ESS57819.2022.9969261.

4. Nerubatskyi V. P., Plakhtii O. A., Tugay D. V., Hordiienko D. A. Method for optimization of switching frequency in frequency converters. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021. No. 1 (181). P. 103–110. DOI: 10.33271/nvngu/2021-1/103.