

Діагностика DC-DC перетворювачів з квазі-імпедансною ланкою

Хижняк Т. А., к.т.н. доц., ORCID [0000-0002-5540-274X](https://orcid.org/0000-0002-5540-274X)

e-mail tatjana.khizhnjak@gmail.com

Терещенко Т. О., д.т.н., проф., ORCID [0000-0003-4009-2854](https://orcid.org/0000-0003-4009-2854)

e-mail tereshchenko50.t.a@gmail.com

Овсієнко М. Ю., ORCID [0000-0002-6014-0844](https://orcid.org/0000-0002-6014-0844)

e-mail brahiozaur@gmail.com

Лайкова Л. Г., ORCID [0000-0002-8969-6264](https://orcid.org/0000-0002-8969-6264)

e-mail laikova@ukr.net

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» kpi.ua

Київ, Україна

Реферат—Стаття присвячена діагностиці DC-DC перетворювачів з квазі-імпедансною ланкою. Моделювання роботи перетворювачів у справному режимі та при різних несправностях дозволило отримати множину діаграм напруг, які використовуються як діагностичні показники. Запропоновано виконувати ідентифікацію типу несправності за критеріями середньоквадратичної помилки та евклідової відстані для різних станів – справного, якому відповідають номінальні значення параметрів елементів, та ряду аварійних, обумовлених обривами, пробоями та короткими замиканнями пасивних елементів перетворювача. Аналіз виконується в часовій та в спектральній областях перетворення Уолша. Показано, що для усталеного режиму роботи перетворювача ідентифікацію несправностей доцільно виконувати у спектральній області. В перехідних режимах перевагу має використання критерію евклідової відстані в спектральній області і середньоквадратичної помилки - у часовій.

Бібл. 11, рис. 3, табл. 2.

Ключові слова — DC-DC перетворювач з квазі-імпедансною ланкою; діагностика; перетворення Уолша.

I. ВСТУП

Перетворювачі з квазі-імпедансною (КІ) ланкою характеризуються широким діапазоном регулювання вхідної напруги, відсутністю стрибків вхідного струму, високою заводськостістю. Ці характеристики обумовили їх застосування в системах з альтернативними джерелами енергії для перетворення вихідних напруг цих джерел (як правило, постійних і змінюваних в широких межах) в постійні напруги з заданими параметрами. Застосування перетворювачів з КІ ланкою дозволяє усунути ланку перетворення DC-AC [1]–[4].

Методи діагностики електротехнічного обладнання, до складу якого входять і напівпровідникові перетворювачі, є досить різноманітними і засновані, зокрема, на використанні авторегресійних моделей, нейро-нечіткої ідентифікації, часових та частотних характеристик, вейвлет-аналізу та нейронних мереж, декомпозиції схем на простіші складові, експертних систем та теорії прецедентів. В основу різних методів покладено аналіз певних сигналів, які характеризують об'єкт діагностування, зокрема, для перетворювачів такими сигналами є часові діаграми їх струмів

та напруг [5], [6]. Дана робота продовжує цей напрям діагностики – в ній ідентифікація несправностей визначається шляхом обчислення міри близькості числових послідовностей, що описують різні режими роботи перетворювача у часовій чи спектральній області.

Метою статті є дослідження впливу несправностей в DC-DC перетворювачі з квазі-імпедансною ланкою на вигляд спектру Уолша діаграм вихідної напруги та вироблення рекомендації щодо способу ідентифікації поточної несправності в часовій та спектральній областях.

II. СХЕМА ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Перетворювач (рис. 1) містить джерело постійної напруги (V_{IN}), мостовий гальванічно-ізолюваний DC-DC перетворювач, на вході якого знаходиться квазі-імпедансна ланка (qZS) з двох конденсаторів C_{qz1} та C_{qz2} , двох індукторів L_{qz1} та L_{qz2} і діода D_{qz} .



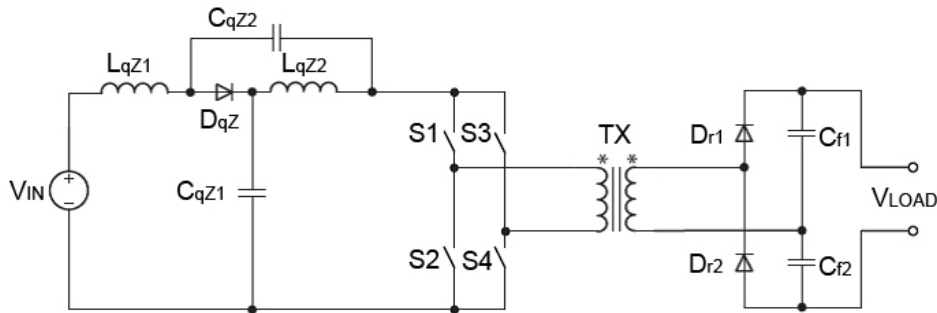


Рис. 1 Схема квазі-імпедансного DC-DC перетворювача

До складу $DC-DC$ перетворювача входить інвертор, побудований на чотирьох МОН- транзисторах (ключі S1-S4 на рис.1), ізоляційний трансформатор TX та подвоювач напруги з двох діодів D_{r1} та D_{r2} і двох конденсаторів C_{f1} та C_{f2} .

III. МОДЕЛЬ ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Модель квазі-імпедансного $DC-DC$ перетворювача реалізована в пакеті розгалуження математичної системи *MATLAB R2014a – Simulink R2014a* (рис. 2). Модель містить джерело постійної напруги V_{IN} (*DC Voltage Source*), до якого під'єднується мостовий інвертор *Universal Bridge*. Між джерелом та інвертором знаходиться пасивна qZS -ланка. Керування транзисторами здійснюється за допомогою блоку керування *Control system*, де задаються амплітуда імпульсів керування (од.), їх період (0,02 сек.), ширина (%) та фазова затримка (сек.). Мостовий інвертор під'єднаний до подвоювача напруги через лінійний трансформатор T (*Linear Transformer*) з коефіцієнтом трансформації 1:4.

IV. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Як діагностичний показник для схеми обрано діаграму напруги вторинної обмотки трансформатора

$T - UT2$. Діаграма для справної роботи перетворювача (рис. 3.а), отримана при наступних параметрах моделі $V_{IN}=15$ В; $L_{qZ1}=L_{qZ2}=0,5$ мкГн, $C_{qZ1}=C_{qZ2}=26,4$ мкФ; $C_{f1}=C_{f2}=2,2$ мкФ. Для цього випадку перехідний процес триває 0,02с.

Оскільки в усталеному режимі напруга $UT2$ за формою є подібною до функції Уолша $wal(a,t)$, то доцільно для аналізу в спектральній області застосовувати саме це перетворення. У випадку повного співпадання базисної функції Уолша та діаграми, спектр буде містити тільки 1 відлік. Це дозволяє передбачити, що визначення аварійного стану шляхом співставлення відомого спектру для справного стану та для поточного буде займати менше часу, ніж співставлення часових діаграм. Спектр Уолша обчислюється на інтервалі двох періодів зміни напруги (0-0,04 с), який розбивається на $N=16$ відліків.

Дискретна часова функція оригінал для випадку перехідного процесу представляється як $y(x)=(1,58; 1,58; 1,54; 1,54; -1,96; -1,34; -1,34; -1,34; 1; 1; 1; 1; -1; -1; -1)$, а її спектр Уолша $Y(v)$, розрахований з використанням виразу

$$Y(v) = \frac{1}{N} F_{wal} y(x), \quad (1)$$

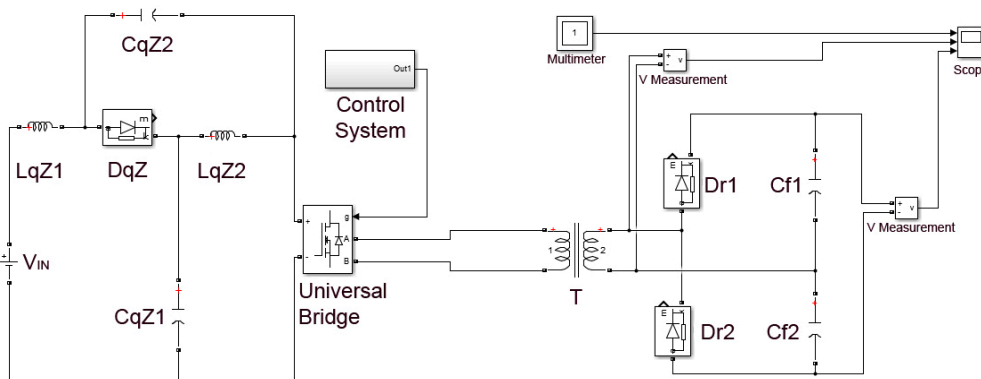


Рис. 2 Модель квазі-імпедансного DC-DC перетворювача

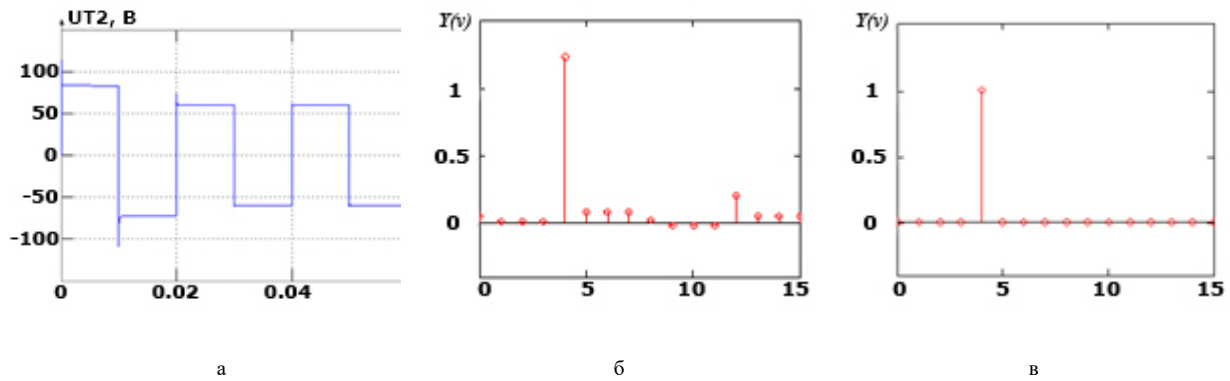


Рис. 3 Діаграма напруги перетворювача для справного стану (а) та її спектри в перехідному (б) та усталеному режимі (в)

де $F_{wal} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}^{[4]}$ – базисні функції Уолша в 4 ступені кронекевського добутку [7]–[9], буде містити 16 різних за величиною значень (рис. 3.б). При аналізі усталеного режиму спектр Уолша міститиме лише 1 відлік (рис. 3.в).

У табл. 1 наведено діаграми роботи перетворювача при різних можливих для нього аварійних станах, як-то обриви, пробої, коротке замикання, та їх спектри Уолша, розраховані за формулою (1).

V. ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ПЕРЕТВОРЮВАЧА НА ОСНОВІ МІРИ БЛИЗЬКОСТІ В ЧАСОВІЙ І СПЕКТРАЛЬНИХ ОБЛАСТЯХ ПЕРЕТВОРЕННЯ УОЛША

Ідентифікація поточного стану перетворювача може бути здійснена на основі розрахунку міри близькості двох числових послідовностей, які описують, відповідно, поточний спектр (або часову діаграму) та спектр (часову діаграму) для справного стану за двома критеріями:

1) критерій евклідової відстані (Euclidean Distance):

$$D(Y_i, Y) = \sqrt{\sum_{v=0}^{N-1} (Y_{i_v} - Y_v)^2}; \quad (2)$$

2) середньоквадратична помилка (Mean Square Error).

$$E(Y_i, Y) = \frac{1}{N} \sum_{v=0}^{N-1} (Y_{i_v} - Y_v)^2, \quad (3)$$

Де Y_{i_v} , Y_v – поточний спектр та спектр для справного стану; v – номер дискретного відліку; N – загальна кількість відліків [10], [11].

Для випадку ідентифікації поточного стану перетворювача в часовій області, в формулах (2) та (3) замість спектрів Y_{i_v} , Y_v використовуються функції часу y_{i_v} , y_v .

Для надання рекомендації щодо застосування одного з критеріїв розрахунку мір близькості здійснюється аналіз даних табл. 2 за двома показниками – діапазоном значень мір близькості та мінімальною відносною різницею цих мір для кожного з типів несправностей. Чим більші ці показники, тим більш точно можна ідентифікувати поточну несправність.

Як слідує з аналізу результатів табл. 2, максимальні значення міри близькості відповідають випадку 9, а мінімальні – випадку 8. Найбільш схожі між собою за коефіцієнтами випадки 7 та 8

Обчислення діапазону мір близькості як відношення максимального значення до мінімального, показало приблизну рівність діапазонів у часовій і спектральній областях. Так, для евклідової відстані невелику перевагу мають розрахунки в часовій області перед спектральною (відношення коефіцієнтів 9 та 8 колонок в табл.2 складає $14,95/0,452=33,14$ в часовій і $3,739/0,113=33,08$ в частотній області), а для середньоквадратичної помилки ситуація є протилежною (відповідні відношення $13,978/0,013=1075$ і $0,874/0,0008=1092$).

Відносна різниця мір близькості для схожих випадків діагностики 7 та 8 обчислюється як

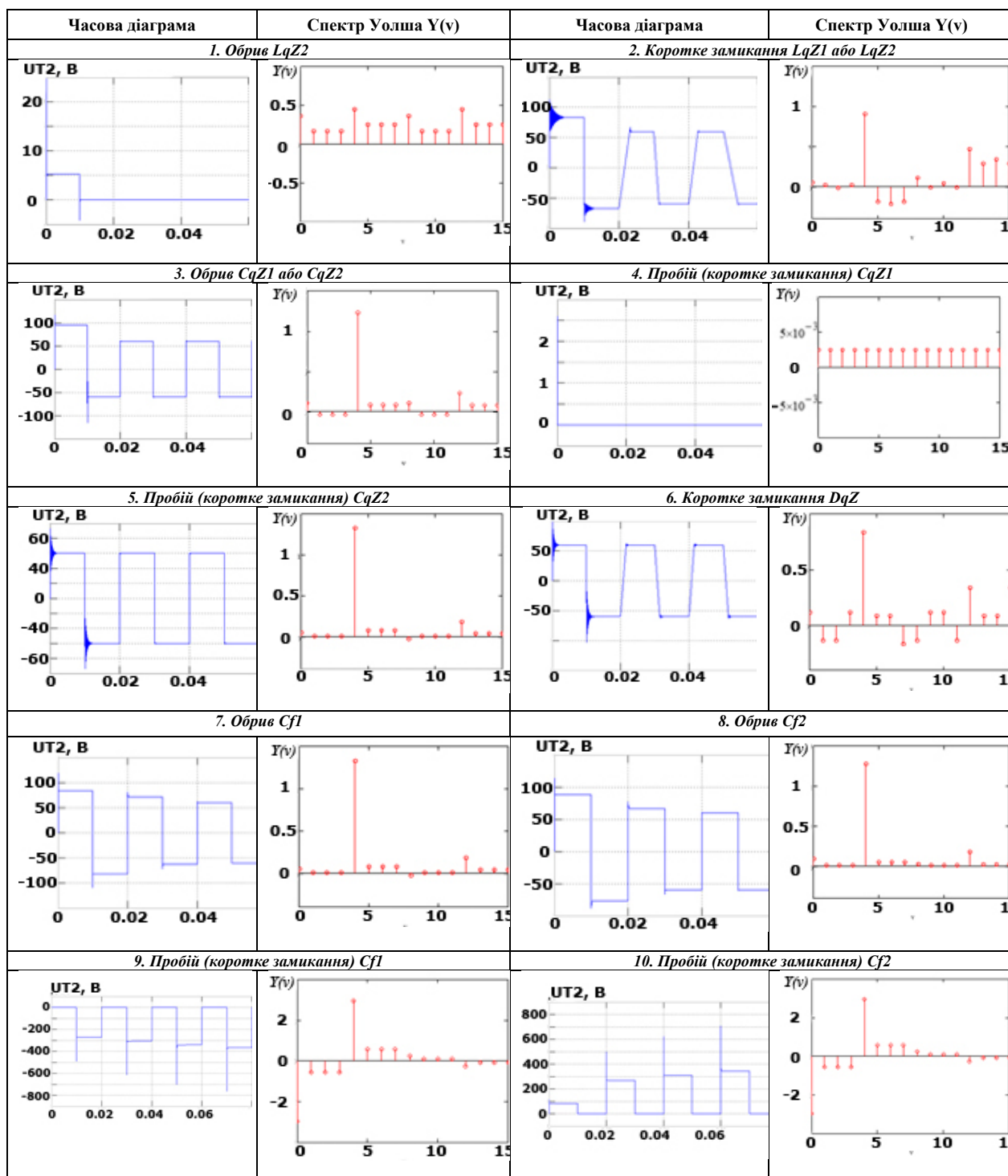
$$\delta = \frac{|M_8 - M_7|}{M_8}, \quad (4)$$

де M_7 та M_8 відповідно міри близькості для несправностей 7 та 8, розраховані за різними критеріями.

Для евклідової відстані ця величина становить 0,064 в часовій області та 0,619 в спектральній. Для середньоквадратичної помилки – відповідно, 0,077 в часовій та 0,0153 в спектральній. Отримані результати свідчать про те, що для випадку схожих несправностей їх краще всього розрізнити у спектральній області з використанням критерію евклідової відстані.

ТАБЛИЦЯ 1 ДІАГРАМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТА ЇХ СПЕКТРИ ПРИ РІЗНИХ АВАРІЙНИХ СТАНАХ





ТАБЛИЦЯ 2 Міри близькості

Тип несправності (згідно табл. 1)	Справний стан	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Евклідова відстань в часовій області	0	4,814	3,126	0,571	5,032	0,891	2,674	0,481	0,452	14,955	9,901
Евклідова відстань в спектральній області	0	1,203	0,781	0,143	1,258	0,223	0,669	0,12	0,113	3,739	2,475
Середньоквадратична помилка в часовій області	0	1,448	0,611	0,02	1,582	0,05	0,447	0,014	0,013	13,978	6,126
Середньоквадратична помилка в спектральній області	0	0,091	0,038	0,0013	0,099	0,003	0,028	0,001	0,0008	0,874	0,383



ВИСНОВКИ

1. Запропоновано виконувати ідентифікацію типу несправності в перетворювачі шляхом обчислення середньоквадратичної помилки та евклідової відстані для поточного та справного стану перетворювача в часовій та в спектральній області перетворення Уолша.

2. За спектром Уолша легко визначити наявність несправностей – спектр для справного стану має єдиний ненульовий відлік спектру Уолша. Поява інших ненульових складових в спектрі свідчить про появу несправності.

3. Ідентифікацію конкретної несправності доцільно виконувати з використанням критерію евклідової відстані в спектральній області, оскільки у цьому випадку отримується в 0,619/0,064 = 9,6 разів більша відносна різниця навіть для схожих несправностей, порівняно з випадком аналізу в часовій області.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] L. Liivik, "Semiconductor Power Loss Reduction and Efficiency Improvement Techniques for the Galvanically Isolated Quasi-Z-Source DC-DC Converters," 2015,
URL: <https://digi.lib.ttu.ee/i/?2519>.
- [2] O. O. Gusev, "Viznachennya parametriv regulatora v sistemі keruvannya DC/DC peretvoryuvachem z kvazi-impedansnoyu lankoyu za umovi stijkosti dlya malogo signalu [Determining of the controller parameters of the qZS DC/DC converter control system providing small signal]," *Tech. Electrodyn.*, no. 5, pp. 18–23, 2015,
URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/100645>.
- [3] J. Anderson and F. Z. Peng, "Four quasi-Z-Source inverters," in *2008 IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 2008, pp. 2743–2749, DOI: [10.1109/PESC.2008.4592360](https://doi.org/10.1109/PESC.2008.4592360).
- [4] D. Vinnikov and I. Roasto, "Quasi-Z-Source-Based Isolated DC / DC Converters for Distributed Power Generation," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2011, vol. 58, no. 1, pp. 192–201,
URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/48e8/7eb70ae697c75b081f06acee18f963a74e06.pdf>.
- [5] Khyzhniak T.A., "Diahnostyka napivprovodnykovykh peretvoryuvachiv iz zastosuvannjam veyvlet-funktsiy m-ichnoho ahrumentu [Diagnostics of semiconductor transducers with use of wavelet functions of m-ical group]," 2008,
URL: <http://www.disslib.org/diahnostyka-napivprovodnykovykh-peretvoryuvachiv-iz-zastosuvannjam-veyvlet-funktsiy-m.html>.
- [6] Y. S. Yamnenko and T. O. Tereshchenko, "Spectral methods for processing biotelemetrical data," *Electron. Commun.*, vol. 21, no. 4, pp. 38–43, Nov. 2016,
DOI: [10.20535/2312-1807.2016.21.4.81904](https://doi.org/10.20535/2312-1807.2016.21.4.81904).
- [7] V. A. Trakhtman, A.M.; Trakhtman, *Osnovy teorii diskretnykh signalov na konechnykh intervalah [Fundamentals of the theory of discrete signals on finite intervals]*. Moscow: Soviet radio, 1975,
URL: https://books.google.com.ua/books?id=vBT_AgAAQBAJ&pg=PA204&lpg=PA204&dq=Трахтман+А+Н&source=bl&ots=XqKVjKcXNe&sig=i3n-ghZdm3iVvgZ_IHL7jRlmr5E&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjvby4hojbAhXDlpoKHdSiBBgQ6AEIQzAD#v=onepage&q=Трахтман А Н&f=false.
- [8] B. Sklar, *Cifrovaya svyaz. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye [Digital communication. Theoretical bases and practical application]*. Moscow: Publishing house "Williams," 2003,
URL: http://www.studmed.ru/sklyar-b-cifrovaya-svyaz-teoreticheskie-osnovy-i-prakticheskoe-primeneniye_5fb0497bb4c.html.
- [9] H. Harmuth, *Teoriya sekventnogo analiza: osnovy i primeneniya [Theory of Sequential Analysis: Foundations and Applications]*. Moscow: Mir, 1980, URL: http://www.studmed.ru/harmut-h-teoriya-sekventnogo-analiza-osnovy-i-primeneniya_9fb8cb5a078.html.
- [10] M. LEVANDOWSKY and D. WINTER, "Distance between Sets," *Nature*, vol. 234, no. 5323, pp. 34–35, Nov. 1971, DOI: [10.1038/234034a0](https://doi.org/10.1038/234034a0).
- [11] O. O. Rohoza, V.S.; Serheyev-Horchynskyy, "Vybor mery podobiya cifrovyyh signalov dlya stohasticheskogo rascheta optimalnykh parametrov cifrovogo filtra [Selection of similarity measure of the digital signals for a stochastic calculation of the digital filter optimum parameters]," *Sci. notes Ukr. Sci. Res. Inst.*, no. 1, pp. 57–64, 2014,
URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nzundiz_2014_1_11.

Надійшла до редакції 11 квітня 2018 р.

УДК 621.314.1

Диагностика DC-DC преобразователей с квази-импедансным звеном

Хижняк Т. А., к.т.н. доц., ORCID [0000-0002-5540-274X](https://orcid.org/0000-0002-5540-274X)

e-mail tatjana.khizhnjak@gmail.com

Терещенко Т. А., д.т.н, проф., ORCID [0000-0003-4009-2854](https://orcid.org/0000-0003-4009-2854)

e-mail tereshchenko50.t.a@gmail.com

Овсієнко М. Ю., ORCID [0000-0002-6014-0844](https://orcid.org/0000-0002-6014-0844)



e-mail brahiozaur@gmail.com

Лайкова Л. Г., ORCID [0000-0002-8969-6264](https://orcid.org/0000-0002-8969-6264)

e-mail laikova@ukr.net

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» kpi.ua

Киев, Украина

Реферат — Статья посвящена диагностике DC-DC преобразователей с квази-импедансным звеном. Моделирование работы преобразователей в исправном режиме и при различных неисправностях позволило получить множество диаграмм напряжения, которые используются как диагностические показатели. Предложено выполнять идентификацию типа неисправности по критериям среднеквадратической ошибки и евклидова расстояния для разных состояний - исправного, которому соответствуют номинальные значения параметров элементов, и ряда аварийных, обусловленных обрывами, пробоями и короткими замыканиями пассивных элементов преобразователя. Анализ выполняется во временной и в спектральной областях преобразования Уолша. Показано, что для установившегося режима работы преобразователя идентификацию неисправностей целесообразно выполнять в спектральной области. В переходных режимах преимущества имеет использование критерия евклидова расстояния в спектральной области и среднеквадратической ошибки - во временной.

Библ. 11, рис. 3, табл. 2.

Ключевые слова – DC-DC преобразователь с квази-импедансным звеном; диагностика; преобразование Уолша.

UDC 621.314.1

Diagnostics of DC-DC Converters with a Quasi-Impedance Link

T. A. Khyzhniak, PhD Assoc. Prof., ORCID [0000-0002-5540-274X](https://orcid.org/0000-0002-5540-274X)

e-mail tatjana.khizhnjak@gmail.com

T. O. Tereshchenko, Dr.Sc.(Eng.), Prof., ORCID [0000-0003-4009-2854](https://orcid.org/0000-0003-4009-2854)

e-mail tereshchenko50.t.a@gmail.com

M. Yu. Ovsienko, ORCID [0000-0002-6014-0844](https://orcid.org/0000-0002-6014-0844)

e-mail brahiozaur@gmail.com

L. H. Laikova, ORCID [0000-0002-8969-6264](https://orcid.org/0000-0002-8969-6264)

e-mail laikova@ukr.net

National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute " kpi.ua

Kyiv, Ukraine

Abstract — The paper is devoted to the development of a method for DC-DC converters with a quasi-impedance link diagnostics. The simulation of the operation of converters was carried out, which allowed to receive diagnostic information in the form of time charts for the normal mode and for various type of failure. The ability to determine the presence of Walsh spectrum disturbances for the steady state is shown.

The research was carried out using the model of a quasi-impedance DC-DC converter implemented in the branching package MATLAB R2014a mathematical system - Simulink R2014a. Simulation results showed that since in the steady state the voltage of the secondary winding of a linear transformer in the form is similar to the Walsh function $wal(a, t)$, then it is advisable to apply this transformation to the analysis in the spectral region. In the case of the complete coincidence of the Walsh basis function and the diagrams, the spectrum will contain only 1 count. This made it possible to predict that determining the state of failure by comparing the known spectrum of the normal state and the current one would take less time than comparing the time charts. The Walsh spectrum was calculated at intervals of 2 periods of voltage change (0-0.04 s). The diagrams of the converter's operation are given for various possible emergency transitions in this converter, such as breakages, breakdowns, short circuits, and their Walsh spectra are given.

It is proposed to perform methods for identifying the type of malfunction in the converter by calculating the mean square error and the Euclidean distance for the current and operating modes in the time and spectral domain of the Walsh transform and comparing these values with the pre-calculated ones. It is found that by the Walsh spectrum it is easy to determine the presence of malfunctions - the spectrum for a normal mode has a unique non-zero count of the Walsh spectrum. The appearance of other non-zero components of the spectrum characterizes a malfunction or change in the parameters of the



circuit. It is established that the identification of a specific malfunction should be performed using the Euclidean distance criterion in the spectral region, since in this case a 9.6 fold greater relative difference is obtained even for similar problems, as compared to the case in the time domain analysis.

Research results are of interest for the development and optimization of diagnostics of DC-DC converters with quasi-impedance link, devices based on them, systems with alternative energy sources

Ref. 11, fig. 3, tabl. 2.

Keywords – DC-DC converter with quasi-impedance link; diagnostics; Walsh transform.

