

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ ІМ. АКАДЕМІКА М. І. ГАСИКА
ПРИДНІПРОВСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ ВИРОБНИКІВ ФЕРОСПЛАВІВ ТА ІНШОЇ
ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ
АКАДЕМІЯ НАУК ВИЩОЇ ШКОЛИ УКРАЇНИ



Матеріали

Міжнародної науково-практичної конференції
“Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності
і сталого розвитку”

The Proceedings
of the International scientific and practical conference
“Innovation in Metallurgy and Strategical adjacent industries for energy efficient
and sustainable development”

присвячена
100-річчю кафедри електрометалургії ім. академіка М. І. Гасика

22-23 квітня, 2025

ДНІПРО

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ ІМ. АКАДЕМІКА М. І. ГАСИКА
ПРИДНІПРОВСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ ВИРОБНИКІВ ФЕРОСПЛАВІВ ТА ІНШОЇ
ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ
АКАДЕМІЯ НАУК ВИЩОЇ ШКОЛИ УКРАЇНИ



Матеріали

Міжнародної науково-практичної конференції
“Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності
і сталого розвитку”

присвячена
100-річчю кафедри електрометалургії ім. академіка М. І. Гасика

22-23 квітня, 2025

ДНІПРО

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES
DEPARTMENT OF ELECTROMETALLURGY NAMED AFTER
ACADEMICIAN MYKHAILO GASIK
PRYDNIPROVSKYI SCIENTIFIC CENTER OF THE NAS OF UKRAINE
UKRAINIAN ASSOCIATION OF MANUFACTURERS OF FERROALLOYS AND
OTHER ELECTROMETALURGICAL PRODUCTS
ACADEMY OF SCIENCES OF HIGHER EDUCATION OF UKRAINE



The Proceedings
of the International scientific and practical conference
“Innovation in Metallurgy and Strategic adjacent industries for energy efficient
and sustainable development”

dedicated to the
100th anniversary of the Department of Electrometallurgy named after Academician
Mykhailo Gasik

22-23 April 2025

DNIPRO

УДК 669:[005.591.6:620.92](082)

I 66

Рекомендовано до друку вченою радою Українського державного університету науки і технологій

(Протокол № 12 від 28.05.2025)

Рецензенти:

Грищенко С. Г. – голова ради директорів об'єднання “Укркольормет”, проф., д.т.н.

Камкіна Л. В. – декан факультету металургійних процесів та хімічних технологій Українського державного університету науки і технологій, проф., д.т.н.

I 66 Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності і сталого розвитку : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 22–23 квітня 2025 р. / за заг. ред. Ю. С. Пройдака, О. В. Жаданоса. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 198 с.

У збірнику подано матеріали, що висвітлюють актуальні проблеми розвитку сучасних технологій в металургійному виробництві, на залізничному транспорті, хімічних виробництвах. Значна увага приділена питанням цифрової трансформації, математичному моделюванню, мультидисциплінарним дослідженням.

ISBN 978-617-8314-05-7(PDF)

Recommended for publication by the Academic Council of the Ukrainian State University of Science and Technologies

(Minutes No. 12 dated May 28, 2025)

Reviewers:

Hryshchenko S. G. – Chairman of the Board of Directors of the Association "Ukrkolormet", Professor, Doctor of Technical Sciences

Kamkina L. V. – Dean of the Faculty of Metallurgical Processes and Chemical Technologies, Ukrainian State University of Science and Technology, Professor, Doctor of Technical Sciences

Innovations in Metallurgy and Related Strategic Industries for Energy Efficiency and Sustainable Development : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, April 22–23, 2025 / edited by Yu. S. Proidak, O. V. Zhadanos. – Electronic edition. – Dnipro : USUST, 2025. – 198 p.

The collection presents materials highlighting current issues in the development of modern technologies in metallurgical production, railway transport, and chemical industries. Significant attention is paid to digital transformation, mathematical modeling, and multidisciplinary research.



Цей твір ліцензовано на умовах Ліцензії Creative Commons

[«Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

[\(«Із зазначенням авторства – Некомерційна – Поширення на тих самих умовах» 4.0 Міжнародна\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

ISBN 978-617-8314-05-7(PDF)
DOI 10.15802/978-617-8314-05-7

© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2025

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	14
СЕКЦІЯ 1. СУЧАСНА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЯ: ПРОБЛЕМИ ТА РІШЕННЯ	15
ПРОДУВАННЯ ВАННИ КОНВЕРТЕРА ПРИ РАФІНУВАННІ ФЕРОНІКЕЛЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ОДНОСОПЛОВИХ ТА ТРИСОПЛОВИХ ФУРМ Акреєв В.В., Приходько С.В., Мельник С.О., Овчарук А.М.	15
ОГЛЯД ДОСТУПНИХ ДЖЕРЕЛ МАРГАНЦЕВОЇ СИРОВИНИ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА МАРГАНЦЕВИХ СПЛАВІВ ПІДПРИЄМСТВАМИ УКРАЇНИ Аносов О.В., Гладких В.А., Рубан А.В., Рябцев О.О.	21
ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ПІД ЧАС ВИПЛАВКИ МАРГАНЦЕВИХ ФЕРОСПЛАВІВ В УМОВАХ АТ НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОДУ ФЕРОСПЛАВІВ Бабуцький В.І., Зінченко О.М.	25
РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ СПЛАВІВ МАРГАНЦІУ Величко К.О.	30
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНОГО НАГРІВУ ЗАЛІЗО-РУДО-ВУГІЛЬНОГО БРИКЕТУ В ІНДУКЦІЙНОМУ ПОЛІ Грек О.С.	35
ІНТЕНСИФІКУЮЧИЙ ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЮ НА ПРОЦЕС ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДІВ Гришин О.М., Надточій А.А., Губа Р.М., Хромовський С.А.	40
ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ЕКОЛОГІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВУГЛЕГРАФІТОВИХ ВИРОБІВ Дерев'яно І.В., Жаданос О.В., Агєєв О.Г.	46
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛАВЛЕННЯ ВУГЛЕЦЬКАРБІДОКРЕМНІЄВИХ БРИКЕТІВ В СТАЛЬ-КОВШІ ПРИ ПОЗАПІЧНІЙ ОБРОБЦІ СТАЛІ Жаданос О.В., Дерев'яно І.В., Шепетяк Є.О., Мацишин В.Г., Петренко М.С.	49
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОЦЕСІВ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ТА ПРОКАТКИ У МОДУЛЬНИХ МЕТАЛУРГІЙНИХ СИСТЕМАХ Ціколія А.З., Кононов Д.О.	54
ХАРАКТЕРИСТИКА ВУГЛЕЦЕВИХ ВІДНОВНИКІВ ДЛЯ ВИПЛАВКИ ФЕРОСИЛІЦІУ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ КРЕМНІЮ Кравченко В.П., Гладких В.А., Рубан А.В., Малий Є.Д.	59

SECTION 2. TRANSPORT AND INDUSTRIAL ENGINEERING	110
STRATEGIC PRIORITIES AND INNOVATIVE PROSPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF REGIONS METALLURGICAL MACHINE INDUSTRY IN THE FACTS Kudria Yaroslav	110
ANALYSIS OF THE TECHNOLOGY OF REPAIRING TRACTION ELECTRIC MOTORS AT THE PLANTS OF THE PRIVATE JOINT-STOCK COMPANY UKRZALIZNYTSIA Bobyр D. V., Serdiuk V. N.	116
INTEGRATION OF IEC/ISO 31010:2009 STANDARD INTO THE RISK MANAGEMENT SYSTEM OF LOCOMOTIVE OPERATIONS Oleksandr Ochkasov, Andriy Desyak, Zhovnirenko Oleksandr	122
METHODS OF INDICATOR DIAGRAM ANALYSIS FOR DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF DIESEL ENGINES: REVIEW AND APPLICATION PROSPECTS Ochkasov O.B., Studenko O.I.	129
DEVELOPMENT OF ENERGY-EFFICIENT DRIVING MODES FOR ROLLING STOCK DURING FORCED SPEED REDUCTION Kapica M.I., Bobyr D.V., Kyslyi D.M., Samilyk D.O.	134
CALCULATION OF PARAMETERS OF SWITCHING UNIT WITH CORRECTIVE LINKS IN THRUSTER DC-DC CONVERTERS Bobyр D.V., Kolodii D.O.	140
EVALUATION OF COOLING PERFORMANCE IN RADIATORS WITH DIFFERENT TUBE PROFILES Mykhailo Kapitsa, Andriy Desyak	147
APPLICATION OF RISK-BASED MAINTENANCE APPROACHES TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF LOCOMOTIVE FLEET MAINTENANCE SYSTEM Bodnar B.Ye., Ochkasov O.B.	152
SECTION 3. PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF CHEMISTRY AND CHEMICAL TECHNOLOGY	158
APPLICATION OF DIMERIC IONIC LIQUIDS OF IONENE TYPE AS A COMPONENT OF SOLAR CELLS Sverdlikovska O., Vovchuk B.	158

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ КОМУТАЦІЙНОГО БЛОКУ З КОРИГУВАЛЬНИМИ ЛАНКАМИ В ТИРИСТОРНИХ DC-DC ПЕРЕТВОРЮВАЧАХ

Бобирь Д.В., кафедра Локомотиви, Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна, d.v.bobyr@ust.edu.ua, 0000-0003-1441-3861

Колодій Д.О., кафедра Локомотиви, Український державний університет науки і технологій м. Дніпро, Україна, danilkakolod@gmail.com, 0009-0004-5156-089X

CALCULATION OF PARAMETERS OF SWITCHING UNIT WITH CORRECTIVE LINKS IN THRUSTER DC-DC CONVERTERS

Bobyr D.V., chair of Locomotives, Ukrainian State University of Science and Technologies, c. Dnipro, Ukraine, d.v.bobyr@ust.edu.ua, 0000-0003-1441-3861

Kolodii D.O., chair of Locomotives, Ukrainian State University of Science and Technologies, c. Dnipro, Ukraine, danilkakolod@gmail.com, 0009-0004-5156-089X

Abstract. The engineering method of calculating parameters of commutation unit at the stage of designing thruster converters is considered.

Operability and energy performance of thruster dc-dc converters (TDC) are largely determined by the electrical scheme of the commutation unit (CU), the structure of which significantly affects the shape and properties of output pulses.

Improvement of the energy performance of the CU is achieved by forming a switching current pulse of rectangular shape, which can be accomplished in various ways. One of the methods is based on the fact that the alternating current of rectangular form is represented by the sum of harmonic components with numbers $K=1, 3, 5, 7, \dots$ and amplitudes decreasing proportionally to the harmonic number [1].

The second method consists in the fact that the CU is made in the form of an artificial long line. The advantages of forming long lines over the oscillating LC-loop have been identified and evaluated in [1, 2] and are mainly reduced to stabilization of thruster turn-off time, reduction of voltage level and pulse load on semiconductor devices due to the possibility to form a current pulse of trapezoidal shape.

To the disadvantages of multilink forming long lines should be attributed the need to use capacitors at full voltage and high values of the rate of rise of current and voltage, which requires the introduction of a saturation choke in the thruster circuit.

Free from these disadvantages is the CU with corrective links (Fig. 1).

We propose an engineering method for calculating the parameters of the CU with corrective links at the stage of designing the TDC, in which the main thrusters are covered by counter-parallel diodes.

The converter for power supply of auxiliary circuits of traction aggregates can serve as an example of such TDC.

Significant factors affecting the performance of the TDC should be considered as the time t_s , provided by the circuit for switching off the thrusters; the switching capacity coefficient K_{cr} ,

which is the ratio of the amplitude of the current overcharge current of the switching capacitor to the amplitude of the current flowing through the switched device before the commencement of switching; the rate of rise of direct current di/dt and voltage du/dt .

The calculated values of the above factors are mainly determined by the parameters of the forming circuits, which include switching capacitance and inductance. Calculation of the latter, in turn, is carried out taking into account the passport data for the corresponding semiconductor devices. Therefore, one of the important tasks in estimating the parameters of the CU with corrective links is to determine the quantitative composition of the links, since this index combines all of the above values [2].

The process of capacitor C_0 discharge in a circuit of the form (Fig. 1) is described by a system of differential equations:

$$\begin{aligned} \frac{di}{dt} &= \frac{1}{L_0}U_{C_0} - \frac{1}{L_0}U_{C_1} - \dots - \frac{1}{L_0}U_{C_n}; \\ \frac{dU_{C_0}}{dt} &= -\frac{1}{C_0}i; \\ \frac{dU_{C_j}}{dt} &= y_j, \quad j = \overline{1, n}; \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \frac{dy_j}{dt} &= \frac{1}{L_0 C_j}U_{C_0} - \frac{1}{L_0 C_j}U_{C_1} - \dots \\ &\dots - \frac{1}{C_j} \left(\frac{1}{L_0} + \frac{1}{L_j} \right) U_{C_j} - \dots - \frac{1}{C_j L_0} U_{C_n}, \quad j = \overline{1, n} \end{aligned}$$

with initial conditions:

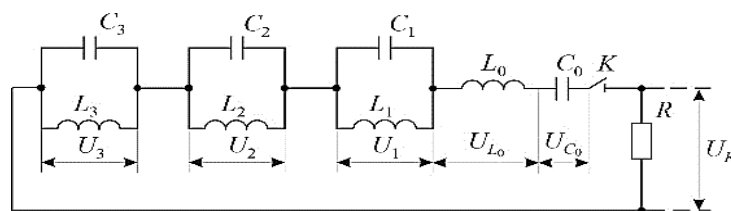


Fig. 1. Scheme of the CU with corrective links

$$\left\{ \begin{array}{l} i(0) = 0; \\ U_{C_0}(0) = U_0; \\ \dots\dots\dots \\ U_{C_j}(0) = 0; \\ U_{C_n}(0) = 0; \\ y_j(0) = 0, \quad j = \overline{1, n}. \end{array} \right. \quad (2)$$

The system of equations (1) with initial conditions (2) was solved by the operator method using the linear algebra apparatus and the method of mathematical induction. As a result of the solution, analytical expressions of the switching current in the n -link switching node were obtained

$$i(t) = \frac{U_0}{L_0} \sum_{k=1}^{n+1} z_k \sin \sqrt{-\alpha_k} \cdot t \quad (3)$$

and voltage on the switching capacitor C_0 :

$$U_{C_0} = U_0 - \frac{U_0}{L_0} \sum_{k=1}^{n+1} \frac{z_k}{\sqrt{-\alpha_k}} \left(1 - \cos \sqrt{-\alpha_k} \cdot t \right), \quad (4)$$

where

$$z_k = \frac{b_n \alpha_k^n + b_{n-1} \alpha_k^{n-1} + b_{n-2} \alpha_k^{n-2} + \dots}{\binom{-1}{n+2} a_{n+1} \binom{n+1}{n+1} \left(\sqrt{-\alpha_k} \right)^{2 \binom{n+1}{n+1} - 1} + \frac{\dots + b_1 \alpha_k + b_0}{\binom{-1}{n+1} a_k n \left(-\sqrt{-\alpha_k} \right)^{2n-1}} + \frac{\sin \sqrt{-\alpha_k} \cdot t}{\binom{-1}{n-j+1} a_{n-j} \binom{n-j}{n-j} \left(\sqrt{-\alpha_k} \right)^{2 \binom{n-j}{n-j} - 1} + \binom{-1}{n-j} a_1 \sqrt{-\alpha_k}},$$

and the coefficients $a_k, b_k, k = \overline{1, n+1}$, depend on the parameters $L_j, C_j, k = \overline{1, n}$; $\alpha_k, k = \overline{1, n+1}$ – roots of the characteristic polynomial of the denominator; n – number of correcting links. However, the current pulse described by expression (3) has a trapezoidal form not at any ratio of parameters $L_j, C_j, k = \overline{1, n}$. Therefore, such ratios between LC the parameters of the form $C_j = V_j C_0, L_j = W_j L_0, j = \overline{1, n}$ were found so that the switching current in the n -link switching node had a trapezoidal form.

The problem of determining the optimal coupling coefficients $V_j, W_j, j = \overline{1, n}$ was solved by minimizing by simplex method the function equal to the ratio of areas F_1/F_2 , where F_1 – the area of a rectangle, one side of which is equal to the maximum amplitude of the switching current, and the other - the half-period of current oscillations; F_2 – the area of a curvilinear trapezoid formed by the curve of the current pulse at some values of parameters $V_j, W_j, j = \overline{1, n}$.

The calculations led to the following results:

$n=1$	$V_1 = 0,667$	$W_1 = 0,313$	
$n=2$	$V_1 = 0,637$	$W_1 = 0,332$	
	$V_2 = 0,331$		$W_2 = 0,068$ (5)
$n=3$	$V_1 = 0,592$	$W_1 = 0,071$	
	$V_2 = 0,649$	$W_2 = 0,386$	
	$V_3 = 0,566$	$W_3 = 0,040$	

The plots of current pulses plotted according to the obtained results are shown in Fig. 2. The current-circuit curve is plotted there as an example.

The choice of a rational composition of the switching unit with corrective links is carried out on the basis of the analysis of real pulses, plotted according to the calculation results for $n = 1, 2, 3$.

For convenience of comparison and estimation of duration of the studied pulses, the latter were analyzed in relative units assuming unchanged values of capacitance C_0 and inductance L_0 .

The analysis of the obtained curves showed that in order to rationally use multilink structures of the switching node, it is advisable to include in its composition one corrective link, the parameters of which are related by relations (5). The use of a greater number of corrective links is inexpedient, as it does not lead to significant changes in the parameters and shape of the pulse, as well as is not rational for design and technological reasons. Moreover, the efficiency of using the switching unit with corrective links increases with the decrease of the calculated value of the switching capacity coefficient K_{cr} . Therefore, the reserve for the amplitude of the forward current of the main thruster contained in the numerical value of K_{cr} , for the switching unit with corrective links can be reduced to 1,1 compared to 1,5 for the LC -circuit.

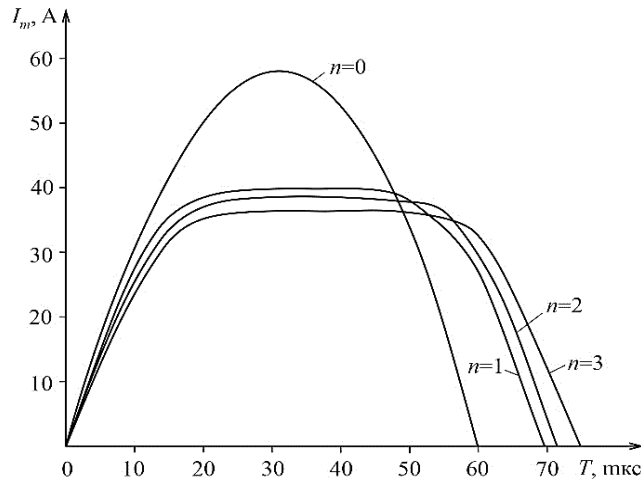


Fig. 2. Graph of current pulses

To ensure reliable switching in an inverter, it is necessary that the time allowed for the thruster to regain electrical strength is greater than the minimum allowable time. Therefore, an important characteristic of the switching process is the recovery angle ωt_s . In this connection, an expression for determining the recovery angle of valve thrusters commutated by the CU with corrective links for $n=0,1,2,3$ at a given value has been obtained K_{cr}

$$\omega t_s = 3,14 + 1,065n + 1,315n^2 - 0,37n^3 - \left(2 - 0,84n + 1,35n^2 - 0,28n^3 \right) \frac{1}{K_{cr}}. \quad (6)$$

To illustrate the effectiveness of expression (6), the solid line in Fig. 3, the solid line shows the shape of the current pulse plotted according to the trigonometric polynomial for $n=1$, and the dots show the values of the pulse edge and cutoff calculated by formula (6). Here is also shown the experimental curve obtained on the 8 kW voltage converter for power supply of auxiliary circuits of the traction unit. Input voltage is $U_{in} = 110$ V, load current is $I_1 = 50$ A, parameters of the switching unit: $C_1 = 0,68C_0$, $L_1 = 0,313L_0$. Good convergence of the results of calculation and experiment allows us to recommend the expression (6) as the initial one when calculating the circuit time of thrusters switching off by the switching unit with corrective links. Expression (6) is also valid for the usual LC -circuit ($n=0$).

To calculate the switching capacitance C_0 and inductance L_0 , as well as the parameters of the correcting links n obtained the following expressions:

$$L_0 = \frac{U_0 z t_s}{I_1 \sqrt{k_1 k_2} (AK_{cr} - B)}; \quad C_0 = \frac{I_1 K_{cr} t_s}{U_0 z \sqrt{k_1 k_2} \left(A - \frac{B}{K_{cr}} \right)}$$

$$L_i = W_i \frac{U_0 z t_s}{I_1 \sqrt{k_1 k_2} (AK_{cr} - B)}; \quad C_0 = V_i \frac{I_1 K_{cr} t_s}{U_0 z \sqrt{k_1 k_2} \left(A - \frac{B}{K_{cr}} \right)},$$

where t_s – passport time of thrusters switching off; I_1 – load current; U_0 – input voltage.

The values of coefficients A , B , z , k_1 and k_2 are summarized in the table.

Table 1. The values of coefficients A , B , z , k_1 , k_2

n	0	1	2	3
A	3,14	5,15	7,57	8,18
B	2	2,22	3,4	3,8
z	–	0,695	0,695	0,642
k_1	–	0,40	0,18	0,17
k_2	–	1,31	1,40	1,50

Calculations and experiments have shown that it is sufficient to include one corrective link with parameters related by the following relations: $C_1 = 0,667C_0$, $L_1 = 0,313L_0$. The use of the CU with a corrective link makes it possible to obtain a switching current pulse of trapezoidal shape. In this case the circuit time of thrusters switching off is stabilized, the amplitude of switching current is reduced by 1,5 times, that increases the switching stability of the converter and improves its energy performance.

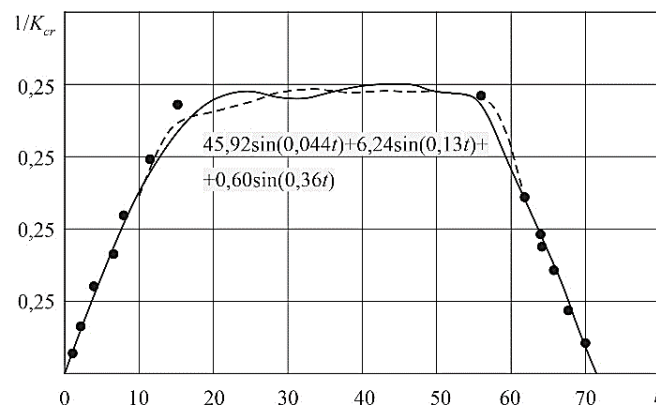


Fig. 3. Current pulse shape, plotted according to trigonometric polynomial for 1, and dots - values of the pulse edge and cutoff, calculated by formula (6).

List of references

1. М. М. Казачковський Автономні перетворювачі та перетворювачі частоти: Навчальний посібник. Дніпропетровськ: НГА України, (2000)
2. Електроніка і мікросхемотехніка: у 4-х т. Том 4. Книга 1. Силова електроніка: Навч. посібник. За ред. В. І. Сенька. К.: Каравела, (2012)
3. Proc. 6-th Electr. Insulat. Conf. (1965, USA, New York) - p.82-84, 95-97.
4. "Insulation", 1969, vol. 15, № 7, p. 48-52.
5. "Kapton doubled mileage on rebuilt traction motors", Du Pont, Cast history of "Kapton", Wilmington, DE, 19898, NA-70070.
6. "Insulation/Circuits", 1971, vol.17, № 3, p. 21-22.
7. "Toshiba Rev.", 1968, vol. 23, № 8, p. 976-981.
8. Proc. of 10-th Electr. Insulat. Conf. (1971 USA, Chicago)-p. 163-165, 360-362.
9. "Elektr. Mashinen", 1972, Bd 51, № 15, s. 140-141
10. Бобирь Д. В. Електричне обладнання тепловозів: підручник/Д. В. Бобирь, В. Н. Сердюк, М. В. Микуленко; за ред. В. Н. Сердюка; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Дніпро: УДУНТ, 2024. – 316 с.
11. <https://ua.weshare-china.com/polyimide-film/insulation-polyimide-film/high-temperature-resistant-insulation.htm>

Наукове видання

Загальна редакція Ю. С. Пройдака, О. В. Жаданоса

**ІННОВАЦІЇ В МЕТАЛУРГІЇ І СУМІЖНИХ СТРАТЕГІЧНИХ ГАЛУЗЯХ ДЛЯ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ І СТАЛОГО РОЗВИТКУ**

МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

Електронне видання

Відповідальні за випуск: Пройдак Ю. С., Жаданос О. В.

Комп'ютерна верстка та дизайн: Жаданос О. В.

*Відповідальність за достовірність інформації, представленої в збірнику,
несуть автори*

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, ауд. 263 (наукова бібліотека)
м. Дніпро, 49010.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022