

Н. Л. ДОН

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-9503-5326

І. Ф. ПОГРЕБНЯК

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-0935-1168

О. О. КОРНІЄНКО

здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
кафедри програмних засобів і технологій
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0009-0002-3145-4382

РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦЕХУ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛЮВАННЯ В MATLAB SIMULINK

У статті представлено результати впровадження сучасних інформаційних технологій моделювання в середовищі MATLAB Simulink для визначення величини струмів короткого замикання при розробці системи електропостачання промислового підприємства в освітньому процесі з підготовки фахівців першого (бакалаврського) рівня освіти зі спеціальності G3. Електрична інженерія (141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) в Херсонському національному технічному університеті.

На прикладі системи електропостачання зварювального цеху заводу важкого машинобудування показано, що дослідження коротких замикань в системі електропостачання цеху промислового підприємства є основним етапом розробки оптимальної електричної мережі.

В середовищі MATLAB Simulink проведено моделювання нормального режиму роботи системи електропостачання заводу та моделювання аварійних режимів короткого замикання, що призводить до підвищення струму в елементах мережі. Проведено порівняння результатів аналітичного розрахунку струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ та моделювання в середовищі MATLAB Simulink. Отримані результати підтвердили коректність розрахунку із врахуванням припустимих наближень.

Дослідження показало, що використання MATLAB Simulink, в курсовому проектуванні з освітньої компоненти «Електропостачання» дозволило здобувачам освіти знайти більш раціональні технічні розв'язання конкретних проблем при розробці оптимальної системи електропостачання, і відповідно підвищити якість виконання курсової роботи.

Зазначено, що використання елементів САПР та сучасних засобів моделювання в освітньому процесі при підготовці фахівців зі спеціальності G3. Електрична інженерія (141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) покращує професійні навички здобувачів освіти та підвищує конкурентоспроможність на ринку праці.

Ключові слова: система електропостачання цеху промислового підприємства, розрахунок струмів короткого замикання, розрахункова схема короткого замикання, схема заміщення короткого замикання, комп'ютерне моделювання, середовище MATLAB Simulink, осцилограма перехідного процесу струму короткого замикання.

N. L. DON

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Energy, Electrical Engineering
and Physics
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-9503-5326

I. F. POGREBNIAK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Energy, Electrical Engineering
and Physics

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0003-0935-1168

O. O. KORNIENKO

Student of the First (Bachelor's) Level of Higher Education
at the Department of Program Tools and Technologies

Kherson National Technical University

ORCID: 0009-0002-3145-4382

CALCULATION OF SHORT-CIRCUIT CURRENTS IN THE POWER SUPPLY SYSTEM OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE WORKSHOP USING MATLAB SIMULINK MODELING

The article presents the results of the implementation of modern information technologies of modeling in the MATLAB Simulink environment to determine the magnitude of short-circuit currents when developing a power supply system of an industrial enterprise in the educational process of training specialists of the first (bachelor's) level of education in the specialty G3. Electrical Engineering (141. Electric Power, Electrical Engineering and Electromechanics) at the Kherson National Technical University.

Using the example of the power supply system of a welding shop of a heavy engineering plant, it is shown that the study of short circuits in the power supply system of a shop of an industrial enterprise is the main stage of developing an optimal electrical network.

In the MATLAB Simulink environment, the normal operation mode of the plant's power supply system and the simulation of emergency short-circuit modes, which lead to an increase in current in the network elements, were simulated. The results of the analytical calculation of short-circuit currents in the network up to 1 kV and the simulation in the MATLAB Simulink environment were compared. The obtained results confirmed the correctness of the calculation taking into account the permissible approximations.

The study showed that the use of MATLAB Simulink in course design for the educational component "Power Supply" allowed students to find more rational technical solutions to specific problems when developing an optimal power supply system, and accordingly improve the quality of course work.

It is noted that the use of CAD elements and modern modeling tools in the educational process when training specialists in the specialty G3. Electrical Engineering (141. Electric Power, Electrical Engineering and Electromechanics) improves the professional skills of students and increases competitiveness in the labor market.

Key words: power supply system of an industrial enterprise workshop, calculation of short-circuit currents, short-circuit calculation scheme, short-circuit equivalent scheme, computer modeling, MATLAB Simulink environment, oscillogram of the short-circuit current transient process.

Постановка проблеми

Сучасне промислове підприємство – це складний комплекс електротехнічних пристроїв з високим ступенем автоматизації, що висуває високі вимоги до надійності електропостачання, дотримання правил електробезпеки, якості електроенергії [1].

Дослідження коротких замикань в системі електропостачання промислового підприємства є основним етапом розробки оптимальної електричної мережі. Звичайно, такі дослідження проводяться з використанням сучасного комп'ютерного програмного забезпечення як моделюванням нормального режиму роботи системи, так і моделюванням можливих аварійних режимів, що призводить до підвищення струму в елементах мережі, і якщо не забезпечується надійний захист, може стати причиною пошкодження електроустановки та подальшого розвитку аварії всієї енергосистеми [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Причиною більшості аварій в електроустановках є короткі замикання (КЗ), які виникають внаслідок порушення електричної міцності ізоляції струмопровідних частин. Протікання струму КЗ є короткочасним, тому призводить до короткочасного збільшення втрат електричної енергії в провідниках та контактах, що супроводжується їх сильним нагріванням. Перегрів струмопровідних частин може призвести до швидкого старіння та руйнування ізоляції, зварювання та вигорання контактів електричних апаратів, втрати механічної міцності шин та провідників. Провідники та комутаційні пристрої повинні витримувати нагрів струмами короткого замикання, тобто бути термічно стійкими [1].

Протікання струму КЗ також супроводжується значними електродинамічними зусиллями між провідниками. Струмопровідні частини, комутаційні апарати та електричні машини повинні бути сконструйовані таким чином, щоб вони витримували без пошкодження зусилля, які виникають при КЗ – вони повинні бути електродинамічно стійкими [1].

Отже, розрахунок струмів короткого замикання є первинним дослідженням при розробці надійної, оптимальної системи електропостачання промислового підприємства.

Відповідно, при розробці системи електропостачання є очевидною потреба у високоякісних інструментах для проектування, моделювання та оптимізації таких систем [1]. Одним із найзручніших програмних засобів структурного математичного моделювання на теперішній час є додаток Simulink пакета MATLAB фірми Mathwork [1- 3].

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є аналіз ефективності використання сучасних технологій моделювання в середовищі Matlab/Simulink для визначення величини струмів короткого замикання при розробці системи електропостачання промислового підприємства.

Викладення основного матеріалу дослідження

В Херсонському національному технічному університеті при підготовці здобувачів першого (бакалаврського) рівня освіти за спеціальністю Г3. Електрична інженерія (141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) передбачено виконання курсової роботи з освітньої компоненти «Електропостачання» за темою «Розробка системи електропостачання промислового підприємства».

Вихідними даними до розробки системи електропостачання є: генеральний план промислового підприємства, план цеху, перелік установленого обладнання (кількість, потужність та режими роботи електроприймачів цеху).

При розробці оптимальної системи електропостачання заводу важкого машинобудування визначено навантаження зварювального цеху методом впорядкованих діаграм; обґрунтовано вибір кількості та потужності цехових трансформаторів; розроблено розподільні мережі 10 кВ та 0,38 кВ.

Для розрахунку струмів короткого замикання в системі електропостачання зварювального цеху складено розрахункову схему короткого замикання (рис. 1) з наступними даними:

- два трансформатори ТП4 ТМ-1000-10/0,4 кВ; $S_{ном} = 1000 \text{ кВА}$;
 - кабельна лінія ГЗП–ТП4 та кабельна лінія ТП4–СП2;
 - лінія СП2–споживач ($P_{н} = 48 \text{ кВт}$; $\cos\varphi = 0,95$; $I_{н} = 76,8 \text{ А}$);
 - автоматичні вимикачі SF1 (ВА-53-43, $I_{н} = 1600 \text{ А}$); SF21 (ВА-51-37, $I_{н} = 400 \text{ А}$); SF31 (ВА-51-33, $I_{н} = 160 \text{ А}$);
- Для спрощення розрахунку прийнято, що в роботі знаходиться одна лінія ГЗП–ТП4 та один трансформатор ТП4.

Розрахункові точки КЗ:

К1 – на шинах РУНН ГЗП;

К2 – на шинах силового пункту СП2;

К3 – на шинах споживача.

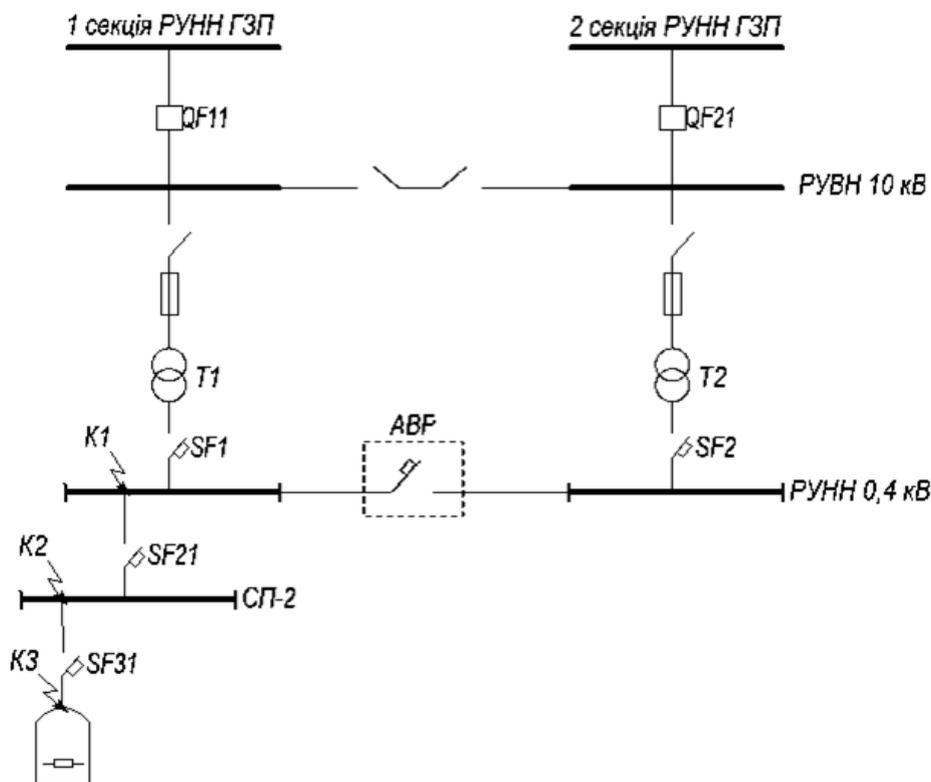


Рис. 1. Розрахункова схема короткого замикання

Результати розрахунку струмів КЗ в зазначених точках К1, К2 та К3 наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Зведена відомість струмів КЗ

Точка КЗ	R_k , мОм	X_k , мОм	Z_k , мОм	R_k/X_k	K_y	q	$I_k^{(3)}$, кА	i_y , кА	$I_{\infty}^{(3)}$, кА	$I_k^{(2)}$, кА
К1	17,86	8,62	19,83	2,07	1	1	11,64	16,46	11,64	10,1
К2	46,63	10,81	47,87	4,313	1	1	4,58	6,48	4,58	3,97
К3	50,53	11,85	51,9	4,264	1	1	4,227	5,98	4,227	3,67

Для аналізу коротких замикань у електричній мережі зварювального цеху проведено моделювання системи електропостачання заводу важкого машинобудування в середовищі MATLAB Simulink (рис. 2).

На рис. 3 наведено параметри блоку трансформатора ТМ-1000/10, застосовані в моделі.

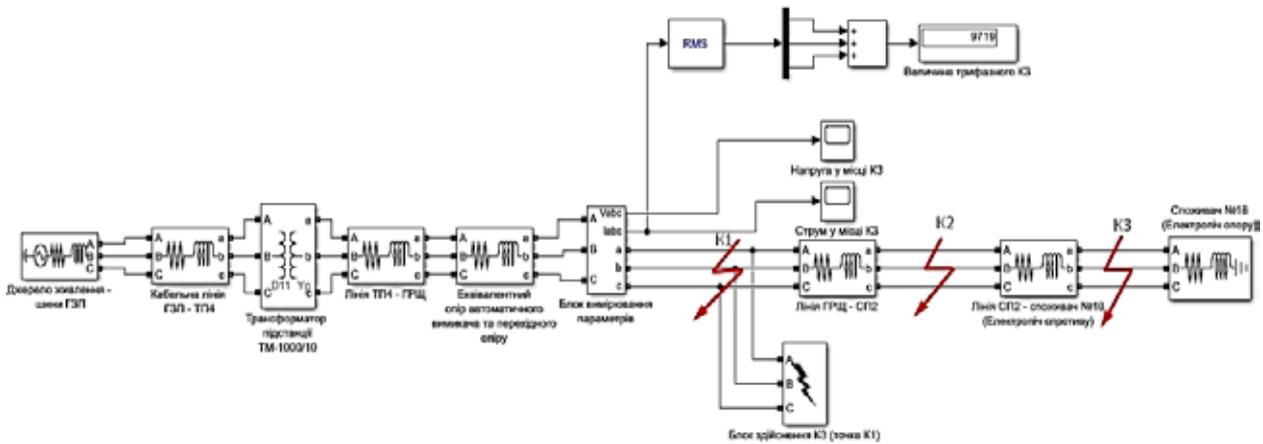


Рис. 2. Схема Simulink моделі для розрахунку короткого замикання в системі електропостачання заводу важкого машинобудування [3]

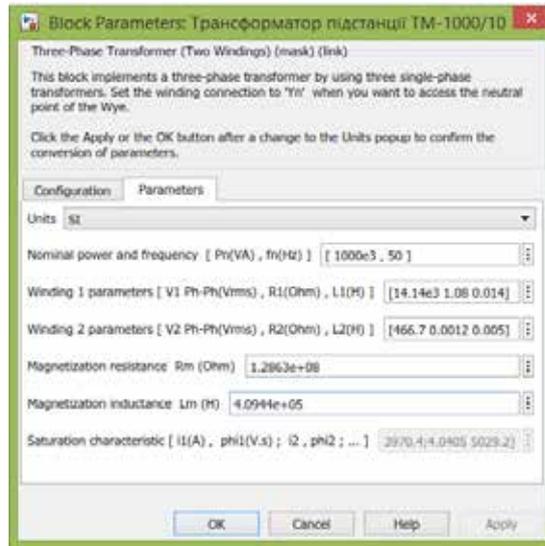


Рис. 3. Параметри блоку трансформатора ТМ-1000/10 [3]

З використанням моделювання в середовищі MATLAB Simulink проведено моделювання нормального режиму роботи системи електропостачання заводу та моделювання аварійних режимів короткого замикання, що призводить до підвищення струму в елементах мережі.

На рис. 4-6 наведено осцилограми перехідного процесу струмів та напруги при короткому замиканні.



Рис. 4. Осцилограма перехідного процесу струму в режимі КЗ у момент часу 0,04 с [3]

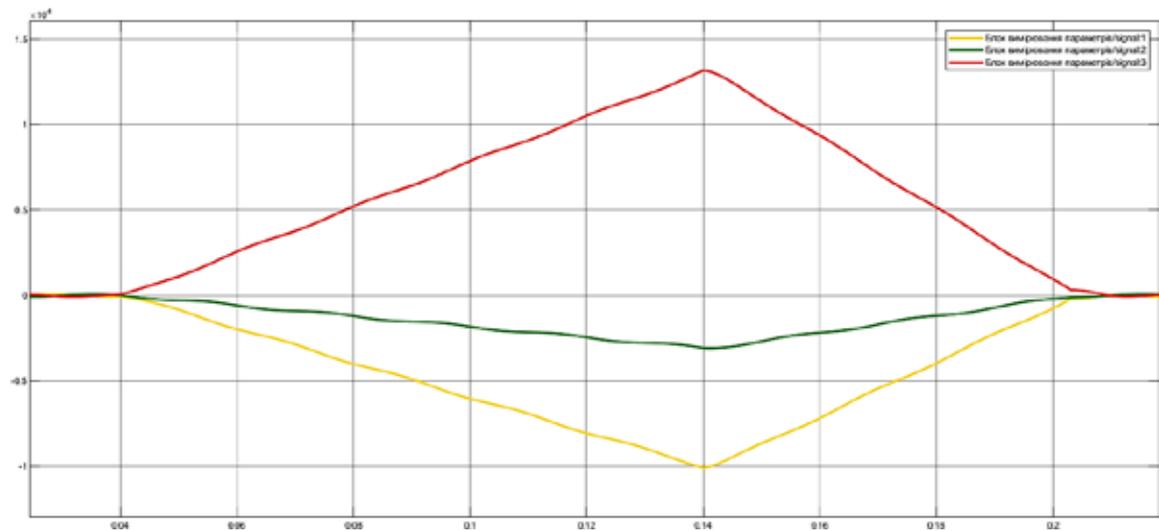


Рис. 5. Осцилограма перехідного процесу струмів трьох фаз при короткому замиканні у точці К1 [3]



Рис. 6. Осцилограма перехідного процесу напруги в режимі КЗ [3]

З рис. 5 видно, що максимальне миттєве значення струму в початковий момент часу – в фазі С складає 13,2 кА. Значення ударного струму при аналітичному розрахунку дорівнює 16,81 кА. Напруга, як і слід було очікувати, при короткому замиканні практично дорівнює нулю.

В табл. 2 наведено результати розрахунку струмів короткого замикання в усіх зазначених точках КЗ мережі як аналітичним методом, так і з використанням моделювання в середовищі MATLAB Simulink.

Таблиця 2

Зведена таблиця струмів короткого замикання

Розрахункова точка	Аналітичний метод		Моделювання в MATLAB Simulink [3]	
	Періодичний струм трифазного КЗ, кА	Ударний струм, кА	Періодичний струм трифазного КЗ, кА	Ударний струм, кА
K1	11,64	16,46	9,719	13,2
K2	4,58	6,48	4,032	5,82
K3	4,227	5,98	3,573	5,12

Отримані результати свідчать про коректність розрахунку із врахуванням припущень, які покладались для спрощення розрахунків аналітичним методом.

Багаторічний досвід використання MATLAB Simulink в курсовому проектуванні з «Електропостачання» показав, що отримані результати моделювання дозволяють здобувачам освіти знайти більш раціональні технічні розв'язання конкретних проблем при розробці оптимальної системи електропостачання, і відповідно підвищити якість виконання курсової роботи.

Висновки

В роботі проведено аналіз ефективності використання сучасних технологій моделювання в середовищі MATLAB Simulink для визначення величини струмів короткого замикання при розробці системи електропостачання промислового підприємства.

В середовищі MATLAB Simulink проведено моделювання нормального режиму роботи системи електропостачання заводу та моделювання аварійних режимів короткого замикання, що призводить до підвищення струму в елементах мережі.

Проведено порівняння результатів аналітичного розрахунку струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ та моделювання в середовищі MATLAB Simulink. Отримані результати підтвердили коректність розрахунку із врахуванням припустимих наближень.

Дослідження показало, що використання MATLAB Simulink, в курсовому проектуванні з освітньої компоненти «Електропостачання» дозволило здобувачам освіти знайти більш раціональні технічні розв'язання конкретних проблем при розробці оптимальної системи електропостачання, і відповідно підвищити якість виконання курсової роботи. З іншого боку, використання елементів САПР та сучасних засобів моделювання в освітньому процесі при підготовці фахівців зі спеціальності G3. Електрична інженерія (141. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) покращує професійні навички здобувачів освіти та підвищує конкурентоспроможність на ринку праці.

Список використаної літератури

1. Толочко О.І. Моделювання та аналіз електромеханічних систем в MATLAB: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 298 с.
2. Wolf Dieter Pietruszka. MATLAB und Simulink in der Ingenieurpraxis. Modellbildung, Berechnung und Simulation. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag, 2006. 402 S.
3. Simscape Block Libraries / MathWorks [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.mathworks.com/help/physmod/simscape/ug/introducing-the-simscape-block-libraries.html> (дата звернення: 24.10.25). Назва з екрана.

References

1. Tolochko, O.I. (2019) Modeling and Analysis of Electromechanical Systems in MATLAB: A Textbook. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 298 p.
2. Wolf Dieter Pietruszka. MATLAB und Simulink in der Ingenieurpraxis. Modellbildung, Berechnung und Simulation. Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag, 2006. 402 S.
3. Simscape Block Libraries / MathWorks [Electronic resource]. Access mode: <https://www.mathworks.com/help/physmod/simscape/ug/introducing-the-simscape-block-libraries.html> (last access: 24.10.25). Title from the screen.

Дата першого надходження рукопису до видання: 19.11.2025
 Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 15.12.2025
 Дата публікації: 31.12.2025