

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Досліджено вплив параметрів силових трансформаторів на точність розрахунків струмів короткого замикання (КЗ) в електричних мережах. Проаналізовано методики визначення струмів КЗ за паспортними даними трансформаторів та розроблено рекомендації щодо врахування реальних параметрів обладнання. Встановлено, що відхилення параметрів трансформаторів від номінальних значень може призводити до похибок розрахунків струмів КЗ до 15-20%, що критично впливає на вибір комутаційної апаратури та налаштування релейного захисту [1].

Ключові слова: короткі замикання, силові трансформатори, струми КЗ, опір короткого замикання, розрахункові методи, електричні мережі..

Abstract

The influence of power transformer parameters on the accuracy of short-circuit current calculations in electrical networks was investigated. Methods for determining short-circuit currents based on transformer passport data were analyzed and recommendations were developed for taking into account real equipment parameters. It was established that deviation of transformer parameters from nominal values can lead to errors in short-circuit current calculations of up to 15-20%, which critically affects the choice of switching equipment and relay protection settings [1].

Keywords: short circuits, power transformers, short circuit currents, short circuit resistance, calculation methods, electrical networks..

Вступ

Розрахунок струмів короткого замикання є одним із найважливіших етапів проектування та експлуатації електричних систем. Від точності цих розрахунків залежить правильний вибір електрообладнання, налаштування релейного захисту та забезпечення електродинамічної і термічної стійкості елементів мережі [1]. Силові трансформатори відіграють ключову роль у формуванні рівнів струмів КЗ, оскільки їхній опір часто є визначальним у загальному опорі короткозамкненого кола [2].

Актуальність теми полягає у необхідності підвищення точності розрахунків струмів КЗ для забезпечення надійності та безпеки роботи електроустановок. За статистикою, неправильний розрахунок струмів КЗ призводить до не вірного вибору параметрів захисту, що може спричинити як недостатню чутливість захисту, так і його хибні спрацювання. Крім того, сучасні трансформатори випускаються з допуском на опір короткого замикання $\pm 10\%$ (для трансформаторів потужністю 25 кВА і більше за стандартом UL 1561), що суттєво впливає на розрахункові значення струмів КЗ [1].

Мета дослідження – проаналізувати вплив параметрів силових трансформаторів на величину струмів короткого замикання та розробити практичні рекомендації щодо точного розрахунку цих струмів. Завдання дослідження включають: аналіз методик розрахунку струмів КЗ; дослідження впливу відхилень параметрів трансформаторів на результати розрахунків; розробку алгоритму врахування реальних параметрів обладнання при розрахунках КЗ.

Результати дослідження

Основним параметром трансформатора, що впливає на струми КЗ, є напруга короткого замикання u_k , яка характеризує опір обмоток трансформатора [3]. Для трансформаторів різної потужності значення u_k становить від 2% до 10.5% [2, 3]. Струм трифазного КЗ на вторинній стороні трансформатора можна визначити за формулою (1):

$$I_{K3} = \frac{100 \cdot S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{2\text{ном}} \cdot u_{k\%}} \quad (1)$$

Проведений аналіз показав, що основні фактори впливу на розрахунок струмів КЗ включають: номінальну потужність трансформатора, напругу короткого замикання, схему з'єднання обмоток, відстань від трансформатора до точки КЗ та параметри провідників [1].

Для дослідження впливу параметрів було розглянуто типову трифазну систему електропостачання 10/0,4 кВ. Розрахунки виконувались методом розрахункових кривих та аналітичним методом [2]. При цьому враховувались як активні, так і індуктивні опори елементів системи. Встановлено, що для силових трансформаторів справедливим є наближення $U_1 \approx E_1$ та $U_2 \approx E_2$ з похибкою близько 5% [2,3].

Особливу увагу приділено впливу допусків на параметри трансформаторів. Згідно з нормативними документами, трансформатори можуть мати відхилення опору короткого замикання $\pm 10\%$ (стандарт UL 1561) або $\pm 7,5\%$ (стандарт ANSI для двообмоткових трансформаторів) [1]. Це означає, що для найгіршого сценарію (максимального струму КЗ) необхідно використовувати $0,9 \cdot u_k$, а для мінімального струму КЗ – $1,1 \cdot u_k$ [1].

Розроблено алгоритм розрахунку струмів КЗ з урахуванням реальних параметрів обладнання. Методика включає наступні етапи: визначення номінального струму трансформатора, розрахунок коефіцієнта трансформації, визначення струму КЗ на вторинній стороні, врахування впливу провідників від трансформатора до точки КЗ за формулою (2):

$$f = \frac{1,732 \cdot L \cdot I_{\text{дон}}}{C \cdot n \cdot U} \quad (2)$$

де L – довжина провідника,

C – константа провідника,

n – кількість провідників на фазу,

$I_{\text{дон}}$ – доступний струм КЗ,

U – напруга.

Проведено порівняльний аналіз результатів розрахунків для трансформатора потужністю 1500 кВА, 480В, з $u_k = 3,5\%$. При номінальних параметрах струм КЗ складає 57279 А. Врахування допуску -10% на опір збільшує цей струм до 63644 А, що становить різницю 11% [1]. Додатково, коливання напруги мережі $\pm 10\%$ призводять до пропорційної зміни струмів КЗ [1].

Таблиця 1 Вплив допусків параметрів на струм КЗ (приклад для трансформатора 1500 кВА, 480В, $3,5\% u_k$)

Умови розрахунку	Струм КЗ, А	Відхилення, %
Номінальні параметри	57279	базове
$u_k \cdot 0,9$ (мінімальний опір)	63644	+11,1
$u_k \cdot 1,1$ (максимальний опір)	52072	-9,1

Важливим аспектом є врахування внеску двигунів у струм КЗ. При короткому замиканні синхронні та асинхронні двигуни працюють як генератори, створюючи додатковий струм [2]. Практична оцінка цього внеску становить $I_{\text{двиг}} \approx 4 \cdot I_{\text{ном}}$ двигунів, хоча можуть використовуватись значення від 4 до 6 [1].

Висновки

Проведене дослідження підтвердило суттєвий вплив параметрів силових трансформаторів на точність розрахунків струмів короткого замикання. Встановлено, що відхилення опору короткого замикання в межах нормативних допусків ($\pm 10\%$) призводить до зміни розрахункових струмів КЗ на $10\text{--}11\%$, що є критичним для правильного вибору та налаштування електрообладнання [1].

Розроблена методика розрахунку з урахуванням реальних параметрів трансформаторів дозволяє підвищити точність визначення струмів КЗ та забезпечити надійну роботу систем релейного захисту. Практичне значення результатів полягає у можливості застосування запропонованих рекомендацій при проектуванні нових та модернізації існуючих електроустановок, що сприятиме підвищенню надійності та безпеки їх експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bussmann. Short-Circuit Current Calculations. Eaton, 2014. URL: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/electrical-circuit-protection/fuses/solution-center/bus-ele-tech-lib-electrical-formulas.pdf>

2. Терешкевич Л.Б., Демов О.Д., Іванков В.О. Електромагнітні перехідні процеси в системах електроспоживання. Вінниця: Вінницький національний технічний університет, 2007. 62 с.
URL:
https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/12863/%d0%95%d0%bb%d0%b5%d0%ba%d1%80%d0%be%d0%bc%d0%b0%d0%b3%d0%bd_%d0%bf%d0%b5%d1%80%d0%b5%d1%85_%d0%bf%d1%80%d0%be%d1%86%d0%b5%d1%81%d0%b8.pdf?sequence=1&isAllowed=y
3. Рясна О.В. Електричні машини: Конспект лекцій (частина 1) для студентів 3 (2 с.т.) курсу денної і заочної форм навчання, програма підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Суми: Сумський національний аграрний університет, 2021. 121 с.

Димчук Ярослав Віталійович – студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, група 1ЕСМ-226, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: yan.morgan2050@gmail.com

Науковий керівник: **Тептя Віра Володимирівна** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: teptyavira@gmail.com

Dymchuk Yaroslav Vitaliiovich – student, Faculty of Electrical Power Engineering and Electromechanics, group 1ESM-226, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: yan.morgan2050@gmail.com

Supervisor: **Teptia Vira V.** - Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the department of electric power stations and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: teptyavira@gmail.com