

П. О. Теселько
кандидат технічних наук,
науковий співробітник

*Київський науково-дослідний інститут судових експертиз
Міністерства юстиції України*

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАДАЧ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАСЛІДКІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ТА ЙОГО ПРИЧЕТНОСТІ ДО ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖ

В статті зроблено короткий огляд літератури з тематики перехідних процесів в системах електроживлення, одним з аварійних серед яких є коротке замикання. Зроблені висновки вказують що ідентифікування короткого замикання за оплавленням електричних дротів є ймовірнісним. Хоч коротке замикання часто носить руйнівний характер, проте немає універсальних критеріїв або методу, які б дозволяли на основі експериментальних досліджень робити категоричний висновок причетності короткого замикання до виникнення пожежі. До того ж на швидкість протікання перехідного процесу (а отже і швидкість кристалізації оплавлення дротів) впливають характеристики джерела електропостачання.

Ключові слова: *перехідні процеси, коротке замикання.*

У сучасному світі важко уявити помешкання чи господарську будівлю без електропостачання та електричного обладнання. Практично всі агрегати та машини містять у собі електричну частину. Електричні схеми займають важливе місце в житті людини. Їх частка постійно збільшується. Така глобальна електрифікація має і іншу сторону медалі – виникнення електромагнітних перехідних процесів, серед яких більш детально розглянемо аварійні процеси, одним з видів яких є коротке замикання.

Досить часто при проведенні експертизи експерту доводиться мати справу з наслідками того чи іншого електромагнітного перехідного процесу, опираючись на відібрані на місці події частини пошкоджених деталей. Найчастіше за доказ короткого замикання приймаються оплавлені обриви електричних дротів. Проте, таке твердження є не коректним в силу того, що оплавлення може виникнути і при інших видах електромагнітних перехідних процесів. Тому експерту важливо усвідомлювати фізичні процеси, які відбуваються під час перехідних процесів, щоб мати змогу вирізнити наслідки короткого замикання від наслідків інших електромагнітних перехідних процесів, в тому числі аварійних процесів. Тому, ймовірно,

відсоток пожеж, як наслідків короткого замикання, завищено під час висновків, про що зауважено у статті [1]. Авторами [1] зроблено висновок, що на сьогоднішній день немає універсальних критеріїв або методу, які б дозволяли на основі експериментальних досліджень робити категоричний висновок причетності аварійних режимів електромережі до виникнення пожежі.

Режими роботи систем електропостачання можна розділити на дві категорії: нормальні та перехідні. Нормальні режими роботи характеризуються незначними змінами параметрів, на відміну від перехідних процесів які характеризуються швидкою та значною зміною параметрів роботи електромережі.

Існує чотири групи режимів:

- 1) нормальні усталені режими;
- 2) нормальні перехідні процеси;
- 3) аварійні усталені та аварійні перехідні процеси;
- 4) післяаварійні усталені процеси.

Графік зміни струму на клеммах електрогенератора обмеженої потужності при виникненні перехідних процесів зображено на Рис. 1. Важливою характеристикою струму в перехідному режимі є ударний струм короткого замикання – максимальне миттєве значення повного струму короткого замикання. Ударний струм настає через пів-періода $T/2=0,01$ с після виникнення короткого замикання і дорівнює сумі амплітудного значення періодичного струму та величини аперіодичного струму для моменту часу $t=0,01$ с [2].

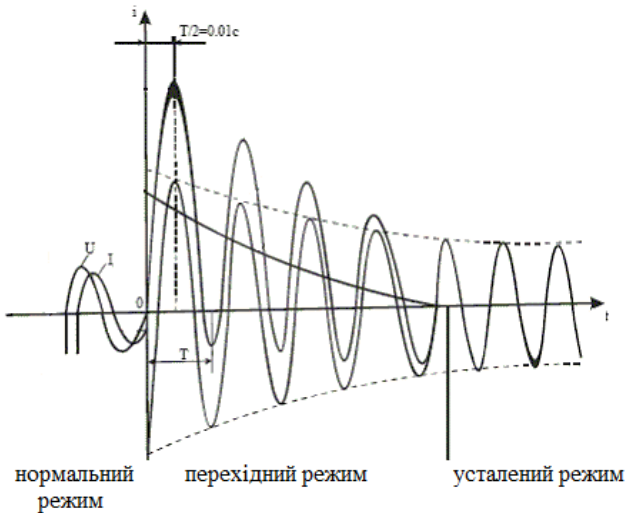


Рис. 1. Зміна в часі періодичної складової струму при перехідних процесах.

Перехідні процеси зумовлені комутаційними переключеннями елементів систем електропостачання, виконанням випробувань, регулювання навантаження відносять до нормальних перехідних процесів. Коротке замикання, обрив фаз, спрацювання автоматичного повторного включення приневідключеному короткому замиканню належать до аварійних перехідних процесів. Аварійні режими виникають як при стійких, так і при не стійких пошкодженнях ізоляції.

Перехідні процеси виникають в електричних системах як під час нормальної експлуатації, так і в аварійних умовах. Вивчення самих перехідних процесів та їх впливу і наслідків є необхідним для виявлення причин виникнення, фізики процесів та розробки методів управління ними. Підвищення уваги до перехідних процесів необхідне ще й тому, що політика економії дефіцитних матеріалів в енергетиці при зростанні одичної потужності агрегатів електричних станцій і ще більшому зростанні по відношенню до генеруючих потужностей навантаження зумовила значне збільшення рівнів струмів короткого замикання [3]. Відповідно зросли і наслідки аварій. Найсильнішими збуджуючими діями вирізняється коротке замикання. В електричних системах вони викликані пошкодженням фазової або лінійної ізоляції струмоведучих частин внаслідок прямих ударів блискавки, вітрових та ожеледних перенавантажень, природнього старіння ізоляції, механічних пошкоджень кабелів і т.д. Зростання величини струмів короткого замикання може призвести до значних електродинамічних зусиль та термічних пошкодженням електроустановок. Під час аварії з коротким замиканням на Волгоградській ТЕЦ турбогенератор 60 МВт буквально вилетів з корпусу через дах, убивши при цьому людину. У США після аналогічної аварії турбогенератора 500 МВт станція була повністю зруйнована.

Існують деякі розбіжності у визначенні короткого замикання. Коротким замиканням, згідно [4] називається непередбачене нормальними умовами роботи системи з'єднання між фазами, або між фазами та землею, яке є наслідком порушення ізоляції фаз. Згідно [5] коротке замикання, це замикання при якому струми у гілках електроустановки, що приєднані до місця його виникнення, різко зростають, перевищуючи найбільший допустимий струм часу режиму. Замиканням називається будь-яке випадкове або навмисне, не передбачуване нормальним режимом роботи, електричне з'єднання різних точок електроустановки між собою або з землею. Згідно [6] коротким замиканням називається будь-яке непередбачуване нормальними умовами роботи замикання між фазами, а в системах з заземленою нейтраллю (або чотирьохпровідних) також замикання однієї або декількох фаз на землю (або на нульовий провід). В системі з ізольованою нейтраллю замикання на землю однієї з фаз не є коротким замиканням, хоча такий режим є аварійним і повинен бути

відключений. В останньому випадку при замиканні однієї з фаз на землю напруга на нульовій точці буде рівна фазній напрузі відносно землі, але зсунута на 180 градусів, а напруги на двох інших фазах будуть збільшені в 1,73 раза. Така ситуація може призвести до пошкодження електроприладів та електрообладнання в приміщеннях де використовують дві вищезгадані фази для живлення. В трифазних системах з незаземленою нейтраллю можуть виникати трифазні (симетричні) короткі замикання та двофазні (несиметричні) замикання в одній точці та через землю в двох різних точках. В трифазних системах з заземленою нейтраллю додатково виникають однофазні короткі замикання та двофазні замикання на землю.

Коротке замикання являє собою перехідний процес, при якому струми та напруги безперервно змінюються від початкового в момент виникнення аварії до ustalених значень. При виникненні короткого замикання між струмом та напругою виникає кут зсуву, величина якого досягає від 30 градусів в кабельних електричних мережах до 90 градусів на шинах електричної станції [6].

Процес короткого замикання супроводжується суттєвим зростанням сили струму. Як правило, провідники та електричне обладнання не розраховані на тривале протікання такого струму. Струм короткого замикання не є постійним, він змінюється з часом в зв'язку з протіканням цілого ряду фізичних процесів в електричній мережі. Сила струму на початковій стадії короткого замикання та її зміна з часом в значній степені залежать від потужності джерела живлення короткого замикання та віддаленості точки короткого замикання від нього [7]. Остання величина характеризується величиною електроопору ділянки електричної мережі від джерела живлення до точки короткого замикання. Якщо ми маємо справу з міською електричною мережею, то джерелом живлення є енергосистема з потужністю яку можна вважати практично необмеженою. Напруга такого джерела змінюється в незначних величинах при виникненні короткого замикання. У разі ж електромережі невеликих населених пунктів, живлення яких відбувається від місцевих електростанцій, ситуація дещо інша. Напруга на шинах електростанції буде змінюватись при виникненні короткого замикання в мережі у другому випадку. Тому струм короткого замикання буде змінюватись по-різному у цих двох випадках. Фізичні процеси, які протікають в зоні оплавлення електричного дроту поблизу точки короткого замикання можуть протікати з різними швидкостями, навіть при однакових зовнішніх умовах.

Струм короткого замикання є важливою характеристикою в енергетичних установках та приладах. Він вказується як один з основних параметрів в сонячних панелях та елементах

фотовольтаїки. Також він є важливою характеристикою трансформаторів. Для штучного створення короткого замикання під час випробувань використовуються спеціальні прилади – короткозамикачі. Звичайно ж, для побутових приладів ця характеристика не використовується. Але втім, важливо розуміти як розрахувати струм та напругу короткого замикання у разі його виникнення.

Напругою короткого замикання двохобмоточного трансформатора називається напруга, яку при номінальній частоті слід підвести до зажимів однієї з обмоток при замкненій накоротко іншій обмотці, щоб у них встановились номінальні струми [8]. Зазвичай напруга короткого замикання U_k приводиться до нормованої розрахункової температури та виражається у відсотках номінальної напруги. Втрати, що виникають в трансформаторі при цьому режимі, називаються втратами короткого замикання. Дослідження короткого замикання проводиться при замкненій накоротко вторинній обмотці при первинній напрузі зниженій настільки, що струми в обмотках не перевищили їх номінальні значення. Це дослідження може проводитися зі сторони будь-якої з обмоток трансформатора. Воно входить в число обов'язкових прийомо-здаточних випробувань, які проходить кожен силовий трансформатор перед випуском з заводу.

Величини струму і напруги короткого замикання залежить від багатьох умов, які при розрахунках врахувати дуже важко. Тому, як правило, приймають ряд спрощень при розрахунку короткого замикання, які не суттєво впливають на результат. Хоча при розрахунках інших параметрів електричної мережі, можливий значний вклад того чи іншого параметра, чи навіть всіх нижчезказаних. Зазвичай можна знехтувати наступними параметрами при розрахунку струму короткого замикання:

- 1) вважають трифазну систему симетричною;
- 2) не враховують перехідних опорів в місці короткого замикання, вважають місце короткого замикання металевим (суцільним);
- 3) приймають, що в вході всього процесу короткого замикання всіх генераторів системи співпадає по фазі (відсутнє коливання генераторів);
- 4) не враховують насичення магнітних сердечників, що дозволяє рахувати постійними і незалежними від струму індуктивний опір всіх елементів коротко замкнутих ланок;
- 5) нехтують намагнічуючими струмами силових трансформаторів та автотрансформаторів;
- 6) не враховують ємність всіх елементів коротко замкнутої ланки, включаючи повітряні і кабельні лінії.

Методика розрахунку струмів короткого замикання детально описана в [9]. Державний стандарт визначає загальні методи

розрахунків струмів короткого замикання у будь-який довільний часовий момент для електроустановок з синхронними і асинхронними машинами, реакторами і трансформаторами, повітряними і кабельними лініями електропередач, шинопроводами, вузлами складної комплексної навантаження. Для оцінювання струму короткого замикання можемо скористатися спрощеною методикою з нехтуванням деяких несуттєвих параметрів.

На практиці у більшості випадків відбуваються однофазні короткі замикання. Для розрахунку струму короткого замикання $I_{к3}$ можна користуватися формулою:

$$I_{к3} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\Pi} + Z_{Т}}$$

де U_{ϕ} – фазна напруга мережі електроживлення, Z_{Π} – опір петлі фаза-нуль, $Z_{Т}$ – повний опір фазної обмотки трансформатора на стороні низької напруги.

Опір петлі фаза-нуль можна порахувати по формулі:

$$Z_{\Pi} = \sqrt{R_{\Pi}^2 + X_{\Pi}^2}$$

де R_{Π} – активний опір електричного дроту мережі короткого замикання, X_{Π} – індуктивний опір електричного дроту мережі короткого замикання. Параметри електричних дротів можна знайти у [9].

Повний опір фазної обмотки трансформатора на стороні низької напруги можна визначити з формули

$$U_{к\%} = \frac{\sqrt{3} I_{н} Z_{Т}}{U_{н}} 100$$

де $U_{к\%}$ – напруга короткого замикання трансформатора, $I_{н}$ та $U_{н}$ – номінальний струм та напруга трансформатора. Всі ці дані є у довідниках. Звідси легко визначити повний опір фазної обмотки трансформатора:

$$Z_{Т} = \frac{U_{к\%} U_{н}}{100 \sqrt{3} I_{н}}$$

При протіканні струму короткого замикання провідник додатково нагрівається до температури, яка перевищує номінальну робочу температуру. Тривалість протікання струму короткого замикання зазвичай невелика, тому вважається, що практично все тепло йде на нагрівання провідника, не встигаючи передаватися в навколишнє середовище. Проте, в силу того, що струми короткого замикання набагато перевищують номінальні струми, провідник може нагрітися до неприпустимої з експлуатаційної точки зору температури за

досить короткий проміжок часу. У зв'язку з цим при виборі струмоведучих частин необхідно перевіряти їх термічну стійкість [10].

Висновки:

1) Коротке замикання – це один з видів перехідних процесів. Наявність на електричних дротах оплавлених обривів може бути наслідком інших перехідних процесів.

2) На сьогоднішній день немає універсальних критеріїв або методу, які б дозволяли на основі експериментальних досліджень робити категоричний висновок причетності аварійних режимів електромережі (у тому числі короткого замикання) до виникнення пожежі.

3) В залежності від характеристик джерела електропостачання, фізичні процеси які протікають в зоні оплавлення електричного дроту поблизу точки короткого замикання можуть протікати з різними швидкостями, навіть при однакових зовнішніх умовах.

Перелік посилань

1. *Гудим В. І., Назаровець О. Б.* Аналіз існуючої бази методів дослідження причетності аварійних режимів електромережі до виникнення пожежі // Техногенна безпека: теорія, практика, інновації: зб. тез II Міжнарод. наук.-практ. конф. Львів, 2011. С. 67–69.
2. *Готман В. И.* Короткие замыкания и несимметричные режимы в электроэнергетических системах: учеб. пособ. Томск, 2011. 240 с.
3. *Давиденко Л. В.* Електромагнітні перехідні процеси. Конспект лекцій. Луцьк, 2005. 28 с.
4. *СТ СЕВ 2726-80*
5. *ГОСТ 26522-85*
6. *Электроснабжение* сельскохозяйственного производства: справоч. Москва, 1977. 352 с.
7. *Цвях В. М., Бебко В. Г., Буц О. М., Фельдман Н. М.* Електричні станції, підстанції, лінії і мережі. Київ, 1987. 304 с.
8. *Электротехнический* справочник: в 3-х т. Москва, 1986. Т. 2. 712 с.
9. *ГОСТ 28249-93.*
10. *Розрахунок* струмів короткого замикання та вибірелектрообладнання наелектричних станціях та підстанціях: методичні вказівки для студентів спец. 6.090600 «Електричні системи та мережі». Чернівці, 2004. 70 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАЧ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОСЛЕДСТВИЙ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ И ЕГО ПРИЧАСНОСТИ К ВОЗНИКНОВЕНИЮ ПОЖАРОВ

П. О. Теселько

В работе сделан краткий обзор литературы по тематике переходных процессов в системах электропитания, одним их аварийных среди которых есть короткое замыкание. Сделанные выводы указывают что идентификация

короткого замыкания по оплавлениям электрических проводов вероятностная. Хотя короткое замыкание зачастую носит разрушающий характер, все же нет универсальных критериев или метода, которые бы разрешали делать категорический вывод причастности короткого замыкания к образованию пожара. К тому же на скорость протекания переходного процесса (а значит и на скорость кристаллизации оплавленных проводов) влияют характеристики источника электроэнергии.

**DEFINITION OF TASKS DURING EXPERT STUDIES OF THE
CONSEQUENCES OF A SHORT CURCUIT AND ITS INVOLVEMENT IN THE
OCCURENCE OF FIRES**

P. Teselko

The paper makes a brief review of the literature on the subject of transient processes in power supply systems and one of the emergencies is a short circuit. The conclusions drawn indicate that the identification of a short circuit due to melting of electrical wires is probable. Although a short circuit is often destructive, there are still no universal criteria or method that would allow a categorical conclusion that a short circuit has been involved to the occurrence of a fire. In addition, the speed of the transition process (and, consequently, the rate of crystallization of wires' melting) is affected by the characteristics of the source of electricity.

УДК 343.98

**О. В. Командиров
завідувач відділу**

*Київський науково-дослідний інститут судових експертиз
Міністерства юстиції України*

**ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОТРИМАННЯ ВИМОГ
НОРМАТИВНО-ПРАВОВИХ АКТІВ УКРАЇНИ В ЧАСТИНІ
ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ АНАЛІЗІ ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ
ТА БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ**

У зв'язку з активізацією в Україні перевірок протипожежного стану закладів освіти, охорони здоров'я, торговельних та офісних центрів та ймовірним зростанням досліджень відповідності проектної документації та існуючих об'єктів вимогам нормативно-правових актів в частині пожежної безпеки, запропоновано узагальнений алгоритм дій для перевірки протипожежних вимог як запроєктованих, так і існуючих будівельних об'єктів, що може бути використаний як судовими експертами при проведенні відповідних досліджень, так й контролюючими органами при здійсненні перевірки об'єктів.

Ключові слова: *пожежна безпека, вимоги, проектна документація, будівельні об'єкти.*