

РЕЖИМ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З РІЗНИМИ СХЕМАМИ ЖИВЛЕННЯ ФІДЕРНОЇ ЗОНИ

У статті подано результати математичного моделювання системи електричної тяги постійного струму в режимі короткого замикання з різними схемами живлення фідерної зони: двостороннє; одностороннє. Проаналізовано та виконано порівняння перехідних електричних величин, що характеризують електромагнітні процеси під час цих аварійних режимів.

Ключові слова: коротке замикання, напруга фідера, швидкість зміни напруги

Вступ

У відповідності з Програмою електрифікації залізниць України на 2008-2020 роки (затверженої наказом № 525-ц від 08.11.2007) та Програмою розвитку господарства електрифікації та електропостачання Укрзалізниці на період до 2020 року виділено такі стратегічні завдання підрозділів господарства [1]:

- підвищення надійності електропостачання;
- заміна існуючих фідерних вимикачів на автоматичні вимикачі нового покоління;
- заміна пристроїв релейного захисту на мікропроцесорні;
- обладнання тягових підстанцій (ТП) пристроями реєстрації доаварійних аварійних і після аварійних режимів роботи контактної мережі та ліній СЦБ;

– створення безпечних умов праці працівників.

Зрозуміло, що виконання цих завдань можливе лише на основі результатів досліджень електромагнітних й електроенергетичних процесів, що протікають у всій системі електричної тяги (СЕТ), причому перехідних, особливо аварійних, процесів, тому що усталені процеси не можуть дати дійсно реально можливої інформації напруг і струмів в СЕТ. Як відомо, до найбільш небезпечних аварійних режимів відносяться: коротке замикання (КЗ) в різних точках схеми; замикання на землю.

Споживачі СЕТ зараховуються до споживачів 1-ої категорії. Тому надійність та безперебійність роботи системи тягового електропостачання (СТЕП), є головною умовою швидкого якісного безпечного перевезення вантажів та пасажирів. Ключову позицію в цьому питанні відіграють системи захисту фідерів тягової мережі (ТМ), від яких залежить збільшення процесу перевезень електрифікованих залізничних ліній. Ці системи повинні забезпечувати надійний захист мережі в перехідних аварійних та експлуатаційних режимах її роботи.

Враховуючи вищезазначене, головною метою роботи у цьому напрямку, на нашу думку, є створення багатопараметричних, високочутливих, селективних, гнучких (параметри яких легко адаптуються для умов певного фідера) систем захисту фідерів 3,3 кВ постійного струму. Основою таких систем має бути мікропроцесорні технології та сучасний рівень теоретичних знань, що базуються на результатах математичного моделювання та накопиченому досвіді експлуатації СТЕП постійного струму. Першочерговими задачами у досягненні цієї мети є розробка математичних моделей (ММ) всієї СЕТ, що містять параметри реальних ТМ і електрорухомого складу постійного струму. Статистична обробка та аналіз результатів розрахунків цих моделей, підтверджених результатами експериментальних досліджень, дозволить отримати залежності зміни аварійних струму та напруги фідера у часі, за допомогою яких можна аналізувати процеси в системі та виконувати вибір параметрів роботи систем захисту для кожної конкретної ділянки та ситуації ТМ.

Схеми заміщення СЕТ постійного струму

Розглянемо випадок КЗ в ТМ без тягового навантаження. Як відомо, в СТЕП залізниць існує дві схеми живлення: двостороннє; одностороннє (консольне). Розглянемо СТЕП для кожного з цих режимів (рис. 1 і 2). На цих рисунках: ТП1, ТП2 – тягові підстанції; ШВ1, ШВ2 – швидкодіючі вимикачі відповідних ТП, які діють на певній фідерній зоні; l – довжина фідерної зони; $x_{кз}$ – координата місця КЗ.

Міжпідстанційну зону ТМ в загальному випадку можна розглядати як електричне коло з зосередженим параметрами (як коротку лінію [2]) чи з розподіленими параметрами (як довгу лінію [2]). В роботі [4] було доведено, що фідерна зона тягового електропостачання постійного струму є саме лінією з зосередженими пара-

метрами. Таким чином, математичне моделювання в даній роботі автором здійснено згідно теорії короткої лінії.

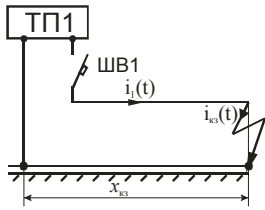


Рис. 1. Схема роботи СЕТ в режимах КЗ при односторонньому живленні (консольне живлення)

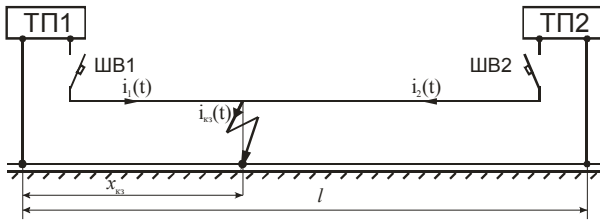


Рис. 2. Схема роботи СЕТ в режимах КЗ при двосторонньому живленні

Розглянемо більш докладно елементи схеми заміщення СЕТ для кожного з розглянутих режимів, а також визначимо їх параметри.

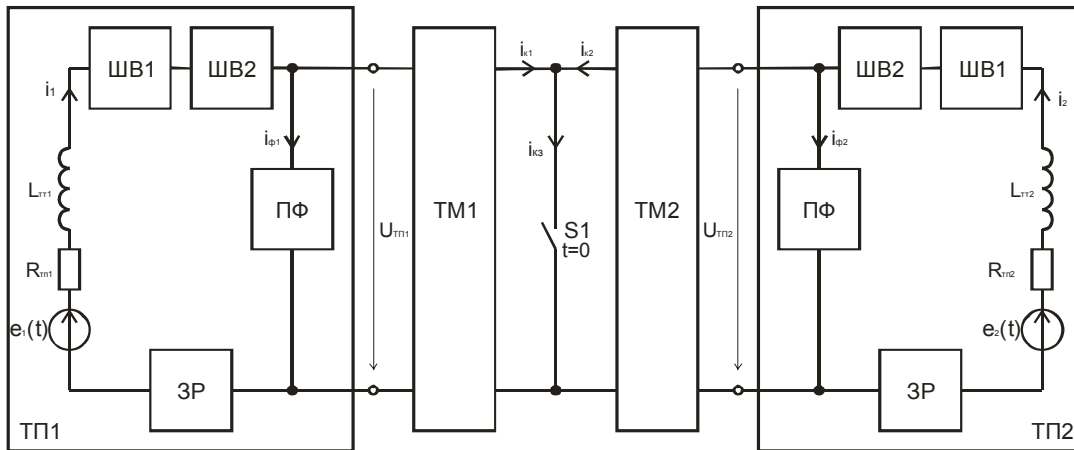


Рис. 4. Електрична схема заміщення системи тягового електропостачання з двостороннім живленням в режимі КЗ

Припущення, що прийняті при моделюванні, та методи розрахунку

Вивчення процесів будь-якого фізичного явища математичними методами пов'язане з прийняттям деяких припущень. Розглянемо особливості чисельного інтегрування рівнянь електромагнітного стану розглянутих на рис. 3, 4 схем заміщення СЕТ в аварійному режимі КЗ.

При створенні ММ електричних кіл постає проблема врахування елементів з малими параметрами. Внаслідок цього електричним колам відповідають диференціальні рівняння відносно високих порядків. Причому, як правило, при

Створимо схеми заміщення СЕТ в режимі КЗ на основі розглянутих вище схем (рис. 1 і 2) живлення фідерної зони, врахувавши всі представлені в роботі [4] параметри її елементів та їх значення. Для фідерної зони з одностороннім (консольним) живленням схема заміщення представлена на рис. 3 [4].

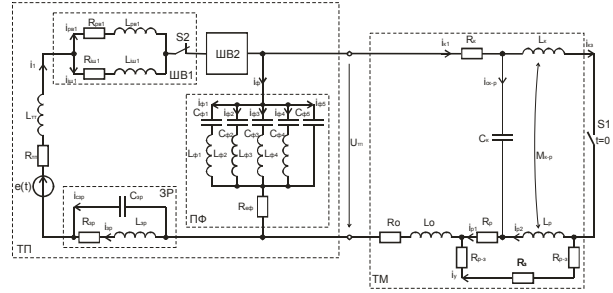


Рис. 3. Електрична схема заміщення СЕТ з консольним живленням в режимі КЗ

Враховуючи позначення та внутрішню структуру кожного з елементів, було також створено схему заміщення СЕТ з двостороннім живленням в режимі КЗ на фідерній зоні рис. 4.

описанні розрахунків подібних рівнянь в інтервалі спостереження потрібне залучення двох видів функцій: швидких з великими значеннями похідних і повільних з малими похідними. Необхідність використання таких функцій для опису рішень диференціальних систем характеризує явище жорсткості, а самі подібні системи називають жорсткими [5]. Явище жорсткості типово для задач теорії електричних кіл. Разом з тим, чисельне розв'язання жорстких диференціальних систем пов'язане із значними труднощами. В роботі [6] автором було розглянуто труднощі розв'язання таких систем на прикладі схеми заміщення згладжуючого реактора.

Таким чином, одним з перспективних шляхів обробки жорстких систем рівнянь є коректування самих систем, що дозволяє розділити опис швидких і повільних процесів. Використання процедури коректування ММ, що виключає її жорсткість на окремих тимчасових інтервалах, дозволило б ефективно застосовувати найпростіші й тому найбільш надійні явні методи чисельного інтегрування. Розглядаючи рівняння стану складної СЕТ, в якій фізика процесів заздалегідь не з'ясована, спрощення ММ можна виконати вилученням (нехтуванням) деяких елементів. Оскільки напруга в мережі не перевищує 4000 В, то струмом витоку між контактним проводом і рейкою, а також через ізоляцію можна знехтувати, тоді такий первинний параметр лінії як поперечна провідність [7] рівна нулю. Результати розрахунку параметрів для найпоширеніших типів підвісок представлені в роботі [8]. З цієї роботи випливає, що питома ємність КМ значно менше ємності фільтр-пристрою ТП, і тому при розрахунку перехідного процесу в ТМ у першому наближенні не враховуємо ємність контактних проводів у схемах заміщення із зосередженими параметрами. Знехтувати також у першому наближенні можна міжвитковою ємністю теактора і тягового трансформатора.

Визначимо ще деякі припущення, прийняті під час проведення розрахунків: параметри і характеристики ТП однакові; вологість навколишнього середовища – нормальна; температура навколишнього середовища – +20 °С.

Для розрахунку вищезазначених систем, було прийнято рішення застосовувати чисельне інтегрування жорстких диференціальних рівнянь методом Адамса, весь розрахунок проводився в програмному забезпеченні Maple 11 при підключенні відповідних внутрішніх пакетів.

Система рівнянь електромагнітного стану розглядуваної системи

Систему диференціальних рівнянь, яка описує електромагнітний стан розглядуваної системи, слід розглядати на різних чотирьох етапах:

– до комутації ключа $S1$ (рис. 3), тобто до виникнення КЗ в СЕП;

– після комутації $S1$, до моменту досягнення струму фідера значення уставки $I_{уст1} = 3000$ А, $I_{уст2} = 2500$ А ШВ відповідної ТП. В цей проміжок слід включити термін часу власного спрацювання t_1 автомата, тобто розглядати його до моменту розходження дугогасних контактів;

– наростання напруги на дузі в камері ШВ за лінійним законом bt [9] на інтервалі

$\tau_B \leq t \leq t_2$, де b – швидкість наростання напруги на дузі дугогасної камери ШВ, τ_B, t_2 – моменти часу розходження дугогасних контактів ШВ і досягнення струму свого максимального значення;

– підтримання потенціалу дуги $b(t - \tau_B) - b(t - t_2)$ від моменту досягнення струмом свого максимального значення до закінчення процесу вимикання $t_2 \leq t \leq t_{вим}$ аварійного режиму.

Перший етап аналізу розглядуваної системи пов'язаний з розрахунком чисельних значень незалежних початкових умов (ПУ) [10]. Визначення незалежних та залежних ПУ є найбільшою складністю в процесі розрахунку будь-яких ППР, особливо у колах з великою кількістю накопичувачів енергії. Тому в розглядуваній роботі ПУ були визначені за алгоритмом представленим в роботі [11]. Оскільки значення е.р.с. джерела напруги попередньо розклали на гармонійні складові, було застосовано принцип суперпозиції. Розглядувану схему розрахували до комутації по нульовій та кожній гармоніці і далі алгебричним додаванням отримали ПУ, що відносяться безпосередньо до самої схеми.

На основі схеми заміщення СЕТ при односторонньому живленні (рис. 3) запишемо рівняння електромагнітного стану для кола після комутації ключа $S1$, який імітує закорочення ТМ. Розглядувана система є системою диференціальних рівнянь другого порядку:

Для схеми рис. 4 розглянуту систему (1) доповнюємо такими ж рівняннями з правої сторони, позначення нижніх індексів необхідно змінити з «1» на «2». Для створення системи диференціальних рівнянь електромагнітного стану 3-го і 4-го етапів досить лише доповнити існуючі розглянуті вище системи величиною спаду напруги на дузі у відповідному інтервалі часу.

Чисельні розрахунки та аналіз їх результатів

Насамперед встановимо адекватність створеної моделі на прикладі вимикання дальнього КЗ автоматом 2×ВАБ-43 фідерної комірки ФА-2 ТП А, натурні експерименти яких були проведені автором на діючій електрифікованій ділянці між ТП А та Б ДП «Придніпровська залізниця». При цьому в одній декартовій площині побудуємо графіки зміни струму ТП, що отримані експериментальним та теоретичним шляхом рис. 5.

З графіку випливає, що з високою вірогідністю можна стверджувати, що створена ММ описує процеси, які є подібними до тих, що відбуваються в режимі КЗ на реальній фідерній

зоні СТЕП. Створимо ММ режиму КЗ в ТМ з одностороннім (консольним) живленням фідерної зони довжиною $l = 20$ км. Живлення здійснюється шестипульсним випрямним агрегатом із середнім значенням напруги живлення 3,5 кВ; у якості фідерного автомата приймемо ШВ 2×ВАБ-43.

Чисельно об'єднавши результати усіх етапів розрахунку, побудуємо графіки зміни струму (рис. 6) та напруги (рис. 7) ТП в режимі КЗ.

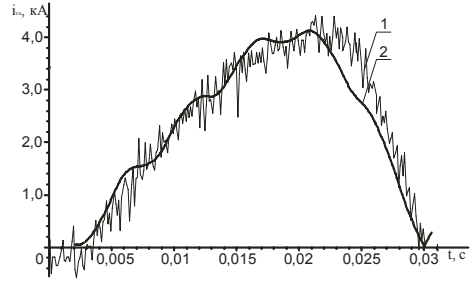


Рис. 5. Криві зміни фідерного струму ТП в режимі вимикання КЗ фідерним автоматом:
1 – осцилограма; 2 – теоретична крива

$$\begin{cases}
 i_1 - i_{im1} - i_{pb1} = 0; \\
 i_1 - i_{im2} - i_{pb2} = 0; \\
 i_1 - i_\phi - i_k = 0; \\
 i_k - i_p - i_y = 0; \\
 i_\phi - i_{\phi1} - i_{\phi2} - i_{\phi3} - i_{\phi4} - i_{\phi5} = 0; \\
 i_1 (R_{TT} + R_{ТП} + R_{3P}) + (L_{TT} + L_{3P}) \frac{di_1}{dt} + i_{im1} R_{im1} + L_{im1} \frac{di_{im1}}{dt} + i_{im2} R_{im2} + L_{im2} \frac{di_{im2}}{dt} + L_{\phi1} \frac{di_{\phi1}}{dt} + \\
 + \frac{1}{C_{\phi1}} \int i_{\phi1} dt + i_\phi R_{e\phi} = e_{ТП}(t); \\
 i_1 (R_{TT} + R_{ТП} + R_{3P}) + (L_{TT} + L_{3P}) \frac{di_1}{dt} + i_{im1} R_{im1} + L_{im1} \frac{di_{im1}}{dt} + i_{im2} R_{im2} + L_{im2} \frac{di_{im2}}{dt} + L_{\phi2} \frac{di_{\phi2}}{dt} + \\
 + \frac{1}{C_{\phi2}} \int i_{\phi2} dt + i_\phi R_{e\phi} = e_{ТП}(t); \\
 i_1 (R_{TT} + R_{ТП} + R_{3P}) + (L_{TT} + L_{3P}) \frac{di_1}{dt} + i_{im1} R_{im1} + L_{im1} \frac{di_{im1}}{dt} + i_{im2} R_{im2} + L_{im2} \frac{di_{im2}}{dt} + L_{\phi3} \frac{di_{\phi3}}{dt} + \\
 + \frac{1}{C_{\phi3}} \int i_{\phi3} dt + i_\phi R_{e\phi} = e_{ТП}(t); \\
 i_1 (R_{TT} + R_{ТП} + R_{3P}) + (L_{TT} + L_{3P}) \frac{di_1}{dt} + i_{im1} R_{im1} + L_{im1} \frac{di_{im1}}{dt} + i_{im2} R_{im2} + L_{im2} \frac{di_{im2}}{dt} + L_{\phi4} \frac{di_{\phi4}}{dt} + \\
 + \frac{1}{C_{\phi4}} \int i_{\phi4} dt + i_\phi R_{e\phi} = e_{ТП}(t); \\
 i_1 (R_{TT} + R_{ТП} + R_{3P}) + (L_{TT} + L_{3P}) \frac{di_1}{dt} + i_{im1} R_{im1} + L_{im1} \frac{di_{im1}}{dt} + i_{im2} R_{im2} + L_{im2} \frac{di_{im2}}{dt} + \\
 + \frac{1}{C_{\phi5}} \int i_{\phi5} dt + i_\phi R_{e\phi} = e_{ТП}(t); \\
 i_{im1} R_{im1} + L_{im1} \frac{di_{im1}}{dt} - i_{pb1} R_{pb1} - L_{pb1} \frac{di_{pb1}}{dt} = 0; \\
 i_{im2} R_{im2} + L_{im2} \frac{di_{im2}}{dt} - i_{pb2} R_{pb2} - L_{pb2} \frac{di_{pb2}}{dt} = 0; \\
 i_k (R_k + R_o) + (L_k + L_o + M_{k-p}) \frac{di_k}{dt} + i_p R_p + (L_p + M_{k-p}) \frac{di_p}{dt} - \frac{1}{C_{\phi5}} \int i_{\phi5} dt - i_\phi R_{e\phi} = 0; \\
 i_p R_p + (L_p + M_{k-p}) \frac{di_p}{dt} - i_y (R_{p-3} + R_3) = 0;
 \end{cases} \quad (1)$$

З графіків рис. 6 випливає, що максимальне значення, якого досягає струм фідера при вимиканні автомата в аварійному режимі, змінюється у межах 1 кА, проте швидкість зростання струму після виникнення КЗ тим менше, чим більша відстань від ТП до точки КЗ. Останнє легко пояснюється збільшенням індуктивності ТМ.

Із зменшенням швидкості зростання струму фідера подовжується термін самого процесу вимикання. Швидкість зменшення струму в період часу $t_2 \leq t \leq t_{\text{вим}}$, коли напруга дуги в камері підтримується постійною $u_d(t) = \text{const}$, в усіх трьох випадках приблизно однакова: прямі А, В, D практично паралельні. На нашу думку, значення швидкості зменшення струму, головним чином, залежить від максимального значення якого досяг струм на попередньому етапі горіння дуги, а також властивостями дугосасної камери.

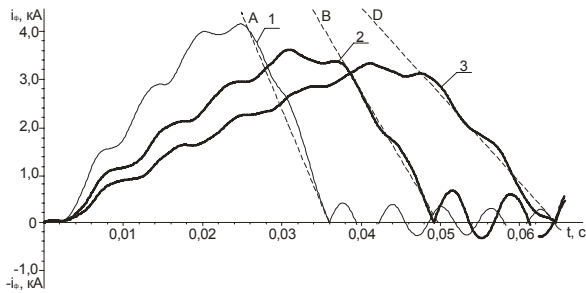


Рис. 6. Часові залежності зміни фідерного струму ТП при вимиканні КЗ, яке відбулося на відстані: 1 – 2 км; 2 – 6 км; 3 – 10 км

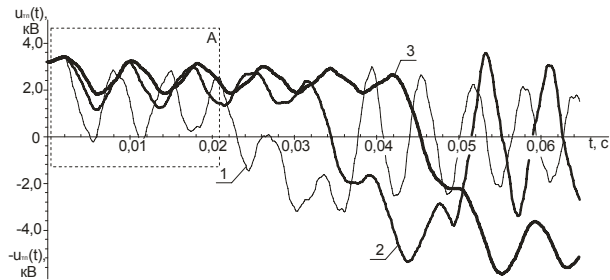


Рис. 7. Часові залежності зміни напруги на затискачах ТП при вимиканні КЗ, яке відбулося на відстані: 1 – 2 км; 2 – 6 км; 3 – 10 км

Графік зміни напруги (рис. 7) на затискачах ТП зі сторони тягової мережі має явно виражений коливальний характер, що легко пояснюється наявністю паралельно ввімкненого пасивного згладжуючого фільтра. Розглянемо більш детально об'єкт А зміни перехідної фідерної напруги (рис. 8).

На початковому інтервалі часу виникнення КЗ розглядувана напруга змінюється лінійно. Швидкість зменшення напруги на початку ППр залежить від відстані до місця виникнення ава-

рійного режиму. На рис. 8 видно, що кут α , який є геометричною інтерпретацією швидкості зміни перехідної електричної величини, збільшується із збільшенням відстані до місця КЗ.

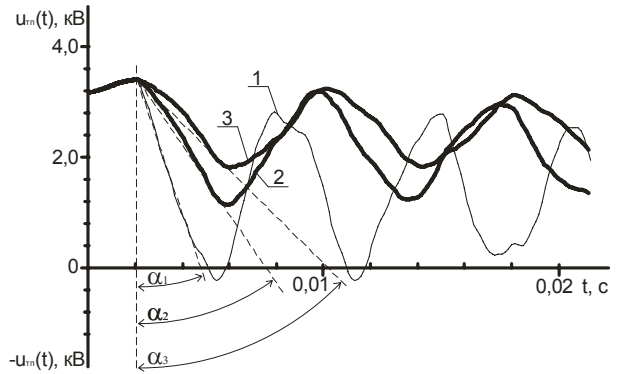


Рис. 8. Виділений об'єкт А часової залежності зміни фідерної напруги (рис. 7)

Характер зміни струму КЗ в ТМ перебігу процесу вимикання подібний до функцій зміни струму у фідерній комірці, однак відсутні значні коливання, цим проявляється робота пасивного фільтра, який затримує проходження вищих гармонійних складових по ТМ.

Для схеми з двостороннім живленням міжпідстанційної зони з $l = 20$ км прийемо, що середнє значення напруги живлення сусідньої ТП2 складає 3,3 кВ, струм уставки $I_{\text{уст}2} = 2500$ А. Графіки зміни струму кожної з ТП1 і ТП2 представлено на рис. 9 і 10 відповідно.

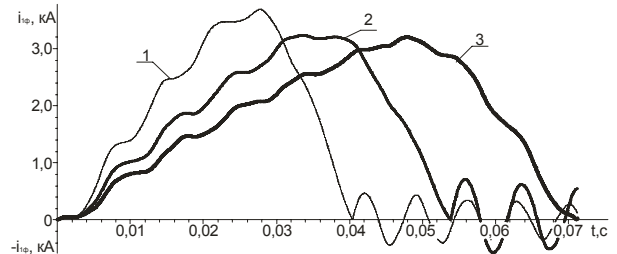


Рис. 9. Часові залежності зміни фідерного струму ТП1 при вимиканні КЗ, яке відбулося на відстані: 1 – 2 км; 2 – 6 км; 3 – 10 км

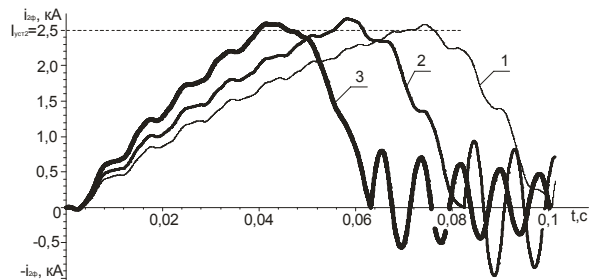


Рис. 10. Часові залежності зміни струму ТП2 під час вимикання КЗ, яке відбулося на відстані: 1 – 18 км; 2 – 14 км; 3 – 10 км

На рис. 11 представлено графіки зміни струму який протікає через точку «металевого» короткого замикання (струм КЗ).

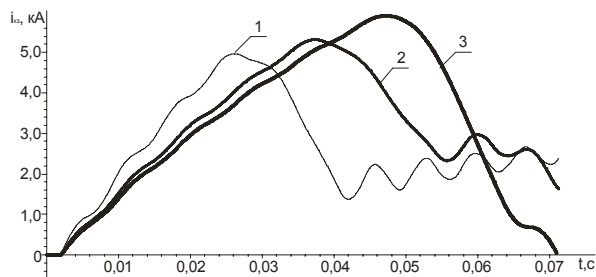


Рис. 11. Часові залежності зміни струму КЗ в системі тягового електропостачання, яке відбулося від ТП1 на відстані: 1 – 2 км; 2 – 6 км; 3 – 10 км

Проаналізуємо отримані результати. Перше на що треба звернути увагу це термін протікання струму КЗ, адже цей термін часу головним чином визначається часом вимикання «найповільнішого» ШВ. Як впливає, з рис. 11, у випадку «1» та «2» струм КЗ продовжує підтримуватися струмом ТП2, у цих дослідів струм зникне лише при повному вимиканні фідерної зони зі сторін ТП1 і ТП2. ШВ, який найдовше вимикається, це є автомат, що знаходиться як найдалі від місця КЗ. Крім того, якщо уставки цього фідерного автомату завищені, він може і не вимкнутися, що видно із рис. 10. Адже, якби в моделі уставка ТП2 була прийнята не 2,5 кА, а хоча б 2,7 кА, то струм КЗ підживлювався б струмом ТП2. По-друге, із рис. 10 впливає, що максимальне значення фідерного струму ТП2 при вимиканні КЗ практично не залежить від зони КЗ і визначається ефективністю роботи дугогасної камери ШВ. По-третє, найбільш небезпечним для КМ у разі виникнення дуги є саме ближнє КЗ, струм якого досягає найбільшого значення з усіх розглянутих випадків.

Виконаємо порівняння середнього КЗ, який виник на фідерній зоні з двостороннім «1» та консольним «2» живленнями (рис. 12, 13).

Із рис. 12 впливає, що максимальне значення струму фідера в обох випадках однакове і визначається, на думку автора, потужністю перетворювального агрегату ТП. Струм КЗ (рис. 13) у випадку двостороннього живлення звичайно найнебезпечніший, оскільки за першим законом Кірхгофа є сумою струмів фідерів прилеглих ТП.

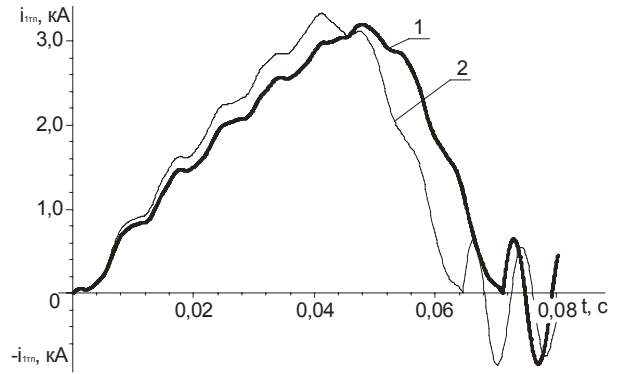


Рис. 12. Часові залежності зміни фідерного струму ТП1 при живленні фідерної зони: 1 – двостороннє; 2 – консольне

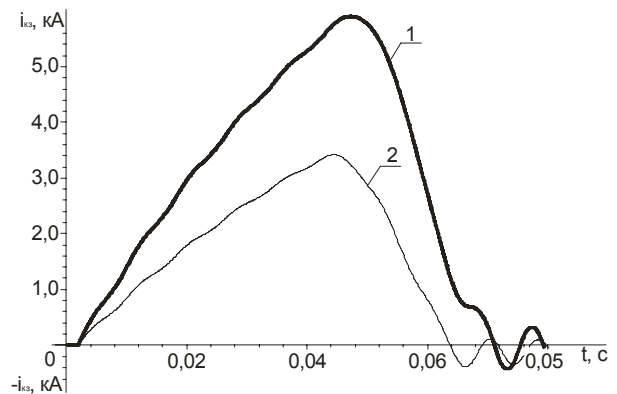


Рис. 13. Графіки зміни струму КЗ при живленні фідерної зони: 1 – двостороннє; 2 – консольне

Висновки

Виконавши моделювання СЕТ з різними схемами живлення фідерної зони в режимі КЗ, можна зробити наступні висновки.

1. З точки зору імовірності перепалу контактного проводу при наявності електричної дуги найбільш небезпечним є КЗ, яке виникає на електрифікованій ділянці з двостороннім живленням, оскільки струм, що протікає в точці КЗ, є сумою струмів живлячих ТП.

2. У разі виникнення далекого КЗ і необґрунтовано заниженими уставками ШВ аварійний режим може тривати нескінченно довго. Це було також виявлено автором і при проведенні одного з натурних дослідів на діючій ділянці Придніпровської залізниці. Негативні наслідки такого явища відомі.

3. Результати математичного моделювання також підтверджують особливості зміни фідерної напруги на початку виникнення ППР. Саме на них оснований новий принцип побудови систем захисту, запропонованих авторами в роботі [12].

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2008 році [Текст]. – К. : Укрзалізниця, 2009. – 243 с.; у 2009 році – К. : Укрзалізниця, 2010. – 226 с.
2. Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники [Текст] / Г. И. Атабеков. – М.-Л. : Энергия, 1964. – Ч. 1. – 312 с.
3. Костин, Н. А. Математическое моделирование переходных аварийных электромагнитных процессов в системе электрической тяги постоянного тока. 1. Короткое замыкание без тяговой нагрузки [Текст] / Н. А. Костин, П. Е. Михаличенко // Вісник ДНУЗТ. – Д. : ДНУЗТ, 2007. – Вип. 17. – С. 66-71.
4. Михаліченко, П. Є. Вплив пасивних фільтрів на електромагнітний стан в режимі короткого замикання в системі тягового електропостачання постійного струму [Текст] / П. Є. Михаліченко // Технічна електродинаміка. Тематичний Вип. «Силова електроніка та енергоефективність». – 2010. – Ч. 2 – С. 195-200.
5. Демирчан, К. С. Теоретические основы электротехники [Текст] / К. С. Демирчан, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. – СПб. : Питер, 2004. – Т. 2. – 576 с.
6. Михаліченко, П. Є. Особливості чисельного розрахунку під час моделювання системи електричної тяги в аварійних режимах [Текст] / П. Є. Михаліченко // Матеріали V-ї Міжнарод. наук.-практ. конф. «Електрифікація транспорту «Транселектро-2011». – 2011. – С. 47-48.
7. Векслер, М. И. Защита тяговой сети постоянного тока от токов короткого замыкания [Текст] / М. И. Векслер. – М.: Транспорт, 1976. – 120 с.
8. Кузнецов, С. М. Защита тяговой сети от токов короткого замыкания [Текст] / С. М. Кузнецов. – Новосибирск : Новосиб. гос. техн. ун-т, 2000. – 75 с.
9. Косарев, Б. И. Исследование условий электробезопасности обслуживания рельсовых путей и соединенных с ними устройств при нестационарных процессах в тяговых сетях магистральных железных дорог: диссертация доктора технических наук [Текст] / Б. И. Косарев.– М. : МИИТ, 1974. – 326 с.
10. Костін, М. О. Теоретичні основи електротехніки [Текст] / М. О. Костін, О. Г. Шейкіна. – Д. : Вид-во ДНУЗТ, 2007. – Т. 2. – 368 с.
11. Туник, В. Ф. Розрахунок перехідних процесів у лінійних електричних колах з зосередженими параметрами. Класичний, операторний методи і метод інтеграла Дюамеля [Текст] / В. Ф. Туник. – Д. : ДНУЗТ, 2002. – 90 с.
12. Костін, М. О. Релейний мікропроцесорний захист системи тягового електропостачання, оснований на новій ознаці. 1. Теорія роботи. [Текст] / М. О. Костін, П. Є. Михаліченко // Вісник ДНУЗТ. – Д. : ДНУЗТ, 2011. – Вип. 37. – С. 80-85.

Надійшла до редколегії 06.01.2012.
Прийнята до друку 10.01.2012.

П. Е. МИХАЛИЧЕНКО

РЕЖИМ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ТЯГОВОЙ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА С РАЗНЫМИ СХЕМАМИ ПИТАНИЯ ФИДЕРНОЙ ЗОНЫ

В статье представлено результаты математического моделирования системы электрической тяги постоянного тока в режиме короткого замыкания с разными схемами питания фидерной зоны: двухстороннее; одностороннее. Проанализировано и выполнено сравнение переходных электрических величин, которые характеризуют электромагнитные процессы во время этих аварийных режимов.

Ключевые слова: короткое замыкание; напряжение фидера; скорость изменения фидера

ROMIHALICHENKO

MODE OF THE SHORT CIRCUIT IN THE DIRECT CURRENT ELECTRIC TRACTION NETWORK WITH DIFFERENT FEED CHARTS OF FYDER AREA

In the article the results of mathematical design of the system of electric traction of direct current are represented in the mode of short circuit and different feed charts of fyder area: two-sided; one-sided. Comparison of transitional electric sizes which characterize electromagnetic processes during these malfunctions is analysed and executed.

Keywords: short circuit; tension of fydera; speed of change of fydera