

П. Є. МИХАЛІЧЕНКО (ДНУЗТ)

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра «Електротехніки та електромеханіки», вул. Лазаряна 2, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна, тел.: +38(056)373-15-37, ел. пошта: [miha.pavel@mail.ru](mailto:miha.pavel@mail.ru)

## ВПЛИВ РЕЖИМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НА ПЕРЕПАЛ КОНТАКТНОГО ПРОВОДУ

### Вступ

Ця робота є продовженням і розвитком досліджень [1-5] аварійного режиму короткого замикання (КЗ) в пристроях системи електричної тяги (СЕТ) постійного струму.

Режим КЗ в тяговій мережі (ТМ) з електро-рухомим складом (ЕРС) є найбільш небезпечним з енергетичної точки зору аварійним режимом в досліджуваній системі електротяги. Цей режим супроводжується різким зниженням напруги на струмоприймачі ЕРС, що рухається, в результаті чого його тягові двигуни (ТЕД) переходять в генераторний режим. Необхідною умовою виникнення цього режиму є те, щоб результуюча генераторна проти-е.р.с. ТЕД перевищувала напругу на струмоприймачі. Імовірність виникнення режиму КЗ в ТМ і максимальні значення генераторних струмів залежать від схеми живлення (консольна, двостороння, вузлова чи паралельна) і параметрів ТМ, а також взаємного розташування КЗ і ЕРС на фідерній зоні.

Електрорухомий склад в генераторному режимі являє собою рухоме джерело електроенергії (джерело струму), яке, поряд зі стаціонарними існуючими тяговими підстанціями (ТП), живить місце КЗ в ТМ. Під час цього аварійного режиму до місця КЗ від ЕРС передається уся електромагнітна енергія, що була накопичена в магнітній системі ТЕД до режиму КЗ. Отже, генеруючий ЕРС, по суті, являє собою додатко-

ву рухому ТП, струм якої є причиною термічних пошкоджень контактного проводу (КП). Крім цього, вони викликають пошкодження також іскрових проміжків у колі заземлення опор ТМ. Часті також випадки пошкодження апаратури на самому генеруючому ЕРС. Тому дослідження зазначеного режиму і, як результат, впливу генераторних струмів на перепал КП, є важливою актуальною задачею при оцінці надійності експлуатації СЕТ [6].

### Математична модель процесів у режимі КЗ

Згідно з [6], процеси, що виникають при переході ТЕД в момент КЗ в ТМ в генераторний режим, достатньо складні і практично мало досліджені. І тому в публікаціях [7, 8] наведено лише орієнтовно характерні зміни (і лише) напруги на струмоприймачі і фідерні струми; інші величини не вивчалися. Тому далі методом математичного чисельного моделювання дослідимо закономірності впливу режиму КЗ в ТМ на процеси генераторних струмів й тим самим на перепал КП.

На рис. 1 і 2 представлені схеми заміщення всієї СЕТ у режимі КЗ і відповідно схеми заміщення групи ТЕД ЕРС при повному і послабленому збудженні. Позначення елементів на цих схемах такі ж як і в роботах [1-5].

Повна математична модель процесів в режимі КЗ в ТМ, згідно рис. 1 і 2, являє собою таку систему рівнянь:

$$\begin{aligned} & (R_{ТП1} + R_{ПС1} + R_{ЗР1} + R_{К1} + R_{Р1} + R_{О1}) \cdot i_1 + (L_{ТТ1} + L_{ЗР1} + L_{К1} + L_{Р1} + L_{О1}) \frac{di_1}{dt} + R_{iш1-1} \cdot i_{iш1-1} + \\ & + L_{iш1-1} \frac{di_{iш1-1}}{dt} + R_{iш1-2} \cdot i_{iш1-2} + L_{iш1-2} \frac{di_{iш1-2}}{dt} = E_{ПС1}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & (R_{ТП2} + R_{ПС2} + R_{ЗР2} + R_{К2} + R_{Р2} + R_{О2}) \cdot i_2 + (L_{ТТ2} + L_{ЗР2} + L_{К2} + L_{Р2} + L_{О2}) \frac{di_2}{dt} + R_{iш2-1} \cdot i_{iш2-1} + \\ & + L_{iш2-1} \frac{di_{iш2-1}}{dt} + R_{iш2-2} \cdot i_{iш2-2} + L_{iш2-2} \frac{di_{iш2-2}}{dt} + (R_{Кек} + R_{Рек}) \cdot i_{ек} + L_{Кек} \frac{di_{ек}}{dt} = E_{ПС2}; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} R_{pB1-1} \cdot i_{pB1-1} + L_{pB1-1} \frac{di_{pB1-1}}{dt} - R_{iш1-1} \cdot i_{iш1-1} - L_{iш1-1} \frac{di_{iш1-1}}{dt} &= 0; \\ R_{pB1-2} \cdot i_{pB1-2} + L_{pB1-2} \frac{di_{pB1-2}}{dt} - R_{iш1-2} \cdot i_{iш1-2} - L_{iш1-2} \frac{di_{iш1-2}}{dt} &= 0; \\ R_{pB2-1} \cdot i_{pB2-1} + L_{pB2-1} \frac{di_{pB2-1}}{dt} - R_{iш2-1} \cdot i_{iш2-1} - L_{iш2-1} \frac{di_{iш2-1}}{dt} &= 0; \\ R_{pB2-2} \cdot i_{pB2-2} + L_{pB2-2} \frac{di_{pB2-2}}{dt} - R_{iш2-2} \cdot i_{iш2-2} - L_{iш2-2} \frac{di_{iш2-2}}{dt} &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$(R_{Кек} + R_{Рек}) \cdot i_{ек} + L_{Кек} \frac{di_{ек}}{dt} + 4R_{Я} \cdot i_{Я1} + 4L_{Я} \frac{di_{Я1}}{dt} + 2R_3 \cdot (i_{31} + i_{32}) + 2p\sigma_3\omega_3 \frac{d}{dt} \left( \sum_{k=1}^4 \Phi_k \right) = C\omega \sum_{k=1}^4 \Phi_k; \quad (4)$$

$$(R_{Кек} + R_{Рек}) \cdot i_{ек} + L_{Кек} \frac{di_{ек}}{dt} + 4R_{Я} \cdot i_{Я2} + 4L_{Я} \frac{di_{Я2}}{dt} + 2R_3 \cdot (i_{33} + i_{34}) + 2p\sigma_3\omega_3 \frac{d}{dt} \left( \sum_{k=5}^8 \Phi_k \right) = C\omega \sum_{k=5}^8 \Phi_k;$$

$$\left. \begin{aligned} i_{Я1} - i_{31} - i_{ш1} &= 0; \\ i_{Я1} - i_{32} - i_{ш2} &= 0; \\ i_{Я2} - i_{33} - i_{ш3} &= 0; \\ i_{Я2} - i_{34} - i_{ш4} &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{31} - i_{\mu 1} + i_{ВХ1} &= 0; \\ \dots & \\ i_{34} - i_{\mu 8} + i_{ВХ8} &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} i_1 - i_{pB1-1} - i_{iш1-1} &= 0; \\ i_1 - i_{pB1-2} - i_{iш1-2} &= 0; \\ i_2 - i_{pB2-1} - i_{iш2-1} &= 0; \\ i_2 - i_{pB2-2} - i_{iш2-2} &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} R_{ВХ-3р} \cdot i_{ВХ1} + \sigma_3\omega_3 \frac{d\Phi_1}{dt} &= 0; \\ \dots & \\ R_{ВХ-3р} \cdot i_{ВХ8} + \sigma_3\omega_3 \frac{d\Phi_8}{dt} &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{\mu 1} &= f(\Phi_1(t)); \\ \dots & \\ i_{\mu 8} &= f(\Phi_8(t)). \end{aligned} \right\} \quad (9) \quad (10)$$

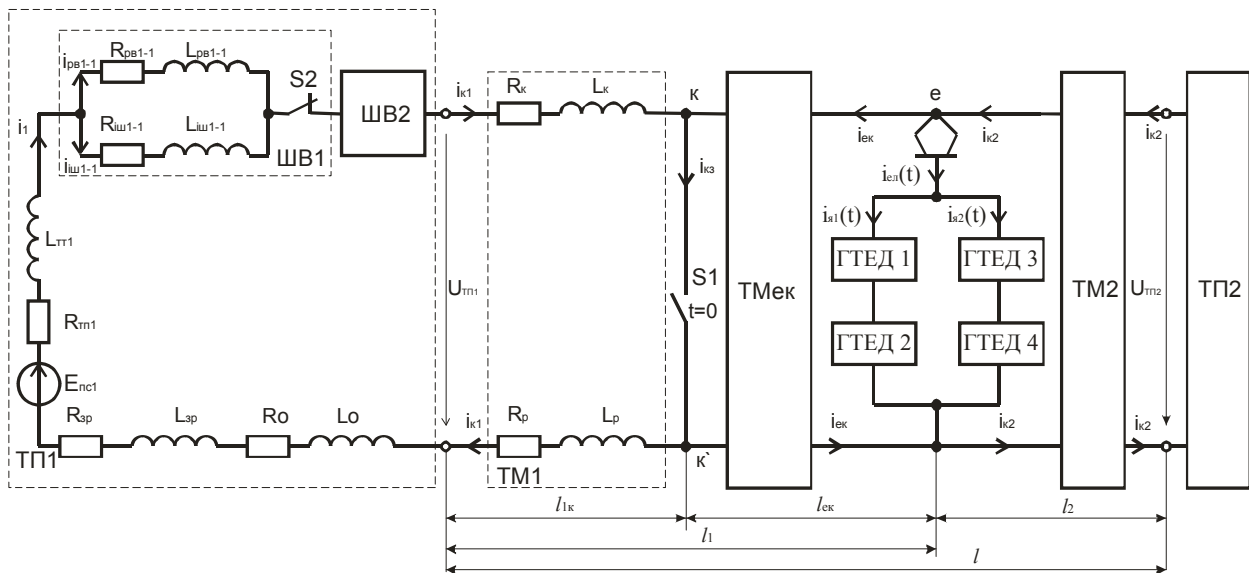


Рис. 1. Схема заміщення системи електричної тяги постійного струму в режимі КЗ в ТМ

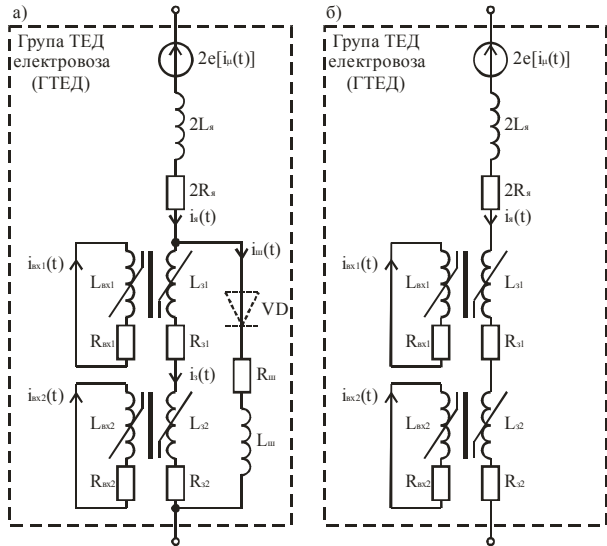


Рис. 2. Схема заміщення групи ТЕД ЕРС постійного струму: а – при послабленні збудження; б – при повному збудженні

В системі (1)-(10) прийняті такі позначення:  $R_{ТП1}, R_{ТП2}$  – входні опори ТП;  $L_{ТТ1}, L_{ТТ2}$  – індуктивності обмоток тягових трансформаторів відповідних ТП;  $R_{ЗР1}, R_{ЗР2}, L_{ЗР1}, L_{ЗР2}$  – активні опори та індуктивності згладжуючих реакторів відповідних ТП;  $R_{К1}, R_{К2}, R_{Кек}, L_{К1}, L_{К2}, L_{Кек}$  – активні опори та індуктивності КП відповідних ділянок ТМ;  $R_{Р1}, R_{Р2}, R_{Рек}, L_{Р1}, L_{Р2}, L_{Рек}$  – активні опори та індуктивності рейок відповідних ділянок ТМ;  $R_{01}, R_{02}, L_{01}, L_{02}$  – активні опори та індуктивності відсасуючих фідерів відповідних ТП;  $R_{ш}, R_{рв}, L_{ш}, L_{рв}$  – активні опори та індуктивності індуктивних шунтів і розмагнічуючих витків відповідних ШВ підстанцій;  $R_{Я}, L_{Я}$  – активний опір та індуктивність обмотки якоря ТЕД (включно з додатковими полюсами і компенсаційними обмотками);  $R_3$  – активний опір обмотки збудження ТЕД;  $p$  – кількість пар полюсів ТЕД;  $\sigma_3, \omega_3$  – коефіцієнт розсіювання та кількість витків обмотки збудження ТЕД;  $E_{ПС1}, E_{ПС2}$  – електрорушійні сили відповідних ТП;  $i_1, i_2$  – струми фідерів ТП;  $i_{ш}, i_{рв}$  – струми у вітках індуктивного шунта та розмагнічуючого витка ШВ ТП;  $i_{Я1}, i_{Я2}$  – струми якорів ТЕД;  $\Phi_1 \dots \Phi_8$  – основні магнітні потоки відповідних ТЕД;  $i_{31} \dots i_{34}$  – струми в обмотках збудження ТЕД;  $i_{ек}$  – струм на ділянці ТМ від ЕРС до точки КЗ;  $i_{вх1} \dots i_{вх8}$  – вихрові струми в станині відповідних ТЕД;  $i_{\mu 1} \dots i_{\mu 8}$  – струми намагнічення відповідних ТЕД.

### Результати та аналіз чисельних розрахунків

Чисельні розрахунки математичної моделі виконано методом Адамса, для таких режимів і припущень: живлення фідерних зон двостороннє; працюючий на ділянці електровоз – серії

ДЕ1; схема з'єднання ТЕД – «СП»; струм ТЕД номінальний, 565 А; збудження ТЕД – повне і послаблене різного ступеня; швидкість електровозу визначається за електромеханічними характеристиками; відстань між ТП1 і ТП2 –  $l=20$  км; відстань від точки КЗ до ТП1 –  $l_{1к}=5$  км; відстань від ЕРС до точки КЗ –  $l_{ек}=5$  км. Значення необхідних для розрахунку параметрів приведені в роботах автора [1-5].

Характер зміни отриманих в результаті розрахунків перехідних величин у режимах ПЗ1-ПЗ4 такий же, як і у режимі повного збудження, але значення цих величин дещо інші. У режимі ПЗ на будь-якій ступені для схеми рис. 2, а на початку часового інтервалу зміни (0,12...0,15 с) спостерігається менша швидкість загасання  $\Phi(t)$  (рис. 3), а, отже, і проти-е.р.с. Це пояснюється тим, що струм у контурі «обмотка збудження – шунтуюча вітка», підтримуючи  $\Phi(t)$ , в основному зменшує ступінь його загасання за рахунок «розряду» індуктивного шунта через обмотку збудження. Демпферуюча дія вихрових струмів на основний потік невелика, оскільки зменшення власне  $\Phi_{max}$  і  $d\Phi/dt$  обумовлює і зменшення вихрових струмів на ПЗ у порівнянні з режимом повного збудження (рис. 4). В результаті зазначеного в режимах ПЗ створюється більшої тривалості і більша різниця між проти-е.р.с. ТЕД і напругою на струмоприймачі, що й обумовлює більш тривалий генераторний струм  $i$  з більшим у 1,4...2,2 рази максимальним значенням (до 880 А на ПЗ4 проти 400 А на повному збудженні) (рис. 5).

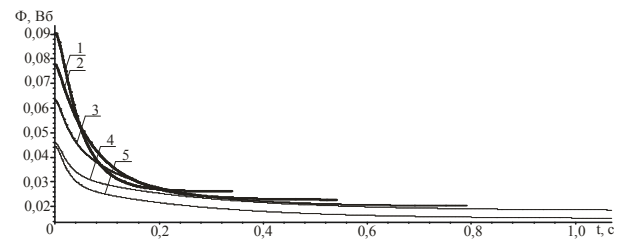


Рис. 3. Часові залежності основного магнітного потоку ТЕД в режимі КЗ в тяговій мережі при різному збудженні ТЕД: 1 – ПП; 2 – ПЗ1; 3 – ПЗ2; 4 – ПЗ3; 5 – ПЗ4

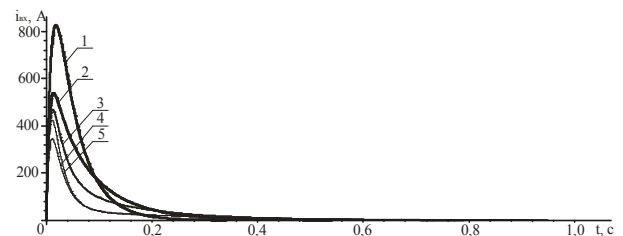


Рис. 4. Часові залежності зміни вихрових струмів в ТЕД для умов рис. 3

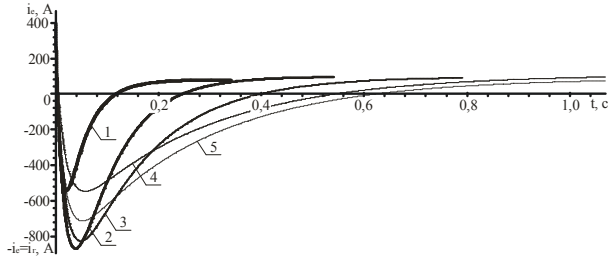


Рис. 5. Часові залежності генераторного струму електровозу для умов рис. 3

Як відомо [6], імовірність і ступінь термічних пошкоджень (зокрема, термін перепалу КП) оцінюється: кількістю електрики  $Q$  (ампер-секунд,  $I \cdot t$ ), що пройшла в місці КЗ при нещільному (дуговому, відкритій електричній дузі) контакті; кількістю теплової енергії  $W$  ( $A^2 \cdot c$ ,  $I^2 \cdot t$ ), що виділяється в місці контакту, - при щільному (бездуговому) контакті. В таблиці відповідно для досліджених вище режимів КЗ визначено:  $Q_k$  (А·с) і  $W_k$  ( $A^2 \cdot c$ ) – загальні кількості відповідно електрики і теплової енергії, що виділились в місці КЗ від ТП і генеруючого ЕРС;  $Q_r$  (А·с) і  $W_r$  ( $A^2 \cdot c$ ) – відповідно кількість електрики і теплової енергії, що виділились лише від генеруючого ЕРС.

Таблиця

**Енергетичні параметри генераторного струму і струму в точці КЗ**

Ступінь ПЗ Кількість електрики і теплоти	ПП	ПЗ1	ПЗ2	ПЗ3	ПЗ4	ПЗ3+VD
$Q_k = \int i_k(t) dt$ , А·с	366,5	902,6	1391,1	1856,2	2143,9	288,4
$Q_r = \int i_r(t) dt$ , А·с	76,9	239,7	339,1	339,7	436,4	41,1
$W_k = \int i_k^2(t) dt$ , $A^2 \cdot c$	$1,58 \cdot 10^6$	$3,66 \cdot 10^6$	$5,3 \cdot 10^6$	$6,52 \cdot 10^5$	$7,67 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$
$W_r = \int i_r^2(t) dt$ , $A^2 \cdot c$	$9,26 \cdot 10^4$	$3,95 \cdot 10^5$	$4,93 \cdot 10^5$	$3,37 \cdot 10^5$	$5,14 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^4$
$Q_r / Q_k$ , %	20,97	26,6	24,4	18,3	20,3	14,6
$W_r / W_k$ , %	5,84	10,8	9,3	5,17	6,7	2,7

Із порівняння даних цієї таблиці із запозиченими з [6] граничними згаченнями, за умов перепалу КП, терміну часу (рис. 82, [6]) його перепалу та кількістю електрики (рис. 83, [6]) ( $I \cdot t$ ), впливає, що для перепалу проводу 2МФ–100 при струмі 1000 А достатньо 1154 А·с, при 2000 А – 769 А·с, при 3000 – 1077 А·с. Для проводу МФ-100 ці значення значно менші. Із порівняння даних таблиці і рисунків впливає також таке: навіть на першій позиції ПЗ1 в точці КЗ можливий перепал і обрив КП, а з підвищенням ступеня ПЗ кількість електрики і виділеного тепла в точці КЗ збільшується, тим самим збільшується імовірність руйнування ТМ. Частка кількості електрики від дії генераторних струмів складає 20...25%; з поглибленням послаблення збудження відсоткова частка впливу генеруючого ЕРС зменшується.

Результати приведеного вище аналізу вимагають розробки методів і засобів, які переривають або не допускають виникнення режиму генерації. Ці засоби і методи повинні базуватись виходячи із основної причини, яка обумовлює виникнення генераторного режиму, а саме, із характеру і зміни в часі основного магнітного потоку  $\Phi(t)$ , точніше, із швидкості  $d\Phi/dt$ , яка значно менше швидкості зменшення напруги на струмоприймачі  $dU_e/dt$ . Тобто, потрібно пришвидшити процес загасання основного магнітного потоку. Для цього в цій роботі пропонується спосіб гасіння магнітного поля з використанням запираючого діода VD, увімкненого послідовно з шунтуючим резистором (рис. 2, а). Цей метод був запропонований А. Л. Лазановським для обмеження генераторних струмів на електровозах змінного струму серії ВЛ60 [9, 10]. Принцип дії такої схеми полягає у наступному. При переході ТЕД під час КЗ в генераторний режим шунтуюча вітка заперта для генераторного струму, тому струм практично від самого початку аварійного режиму змушений протікати по обмотці збудження головних полюсів: двигун веде себе як при повному збудженні. Напрямок цього струму зустрічний до напрямку струму збудження, завдяки цьому відбувається інтенсивне розмагнічення двигуна і величина генераторного струму зростає лише до невеликого значення.

Автором даної роботи створено математичну модель для перевірки ефективності роботи вищезазначеної схеми (з вмиканням діода, рис. 2, а) під час перехідного процесу в ЕРС постійного струму; прийнято, що діод ідеальний. Згідно методу миттєвих схем, моделювання проводили в 4 етапи. На першому етапі графічне

представлення системи тягового електропостачання постійного струму в режимі КЗ (рис. 1) доповнюємо схемою заміщення групи двигунів (ГТЕД), представлений на рис. 2, а. Система диференціальних рівнянь, що описує електромагнітні процеси на першому етапі моделювання, нічим не відрізняється від системи (1)-(10). В момент досягнення струмом шунтуючої вітки значення рівного 0 діод запирається і схема ГТЕД рис. 2, а змінюється на схему рис. 2, б. Відповідно для такої схеми система рівнянь (1)-(10) дещо змінюється, а саме, струм якоря протікає по обмотці збудження  $i_3=i_{я}$ , а також  $i_{ш}=0$ . Математичну модель розраховано для послаблення збудження ПЗЗ.

На рис. 6 в одній системі координат виконано порівняння часових залежностей струму електровозу: при повному збудженні; послабленні збудження ПЗЗ; послабленні збудження ПЗЗ з використанням запираючого діода VD (далі такі схеми будемо позначати ПП, ПЗЗ, ПЗЗ+VD відповідно). Порівнюючи часові залежності генераторного струму електровозу, а також чисельні значення кількості електрики, яка генерується в цих трьох випадках (таблиця), можна зробити висновок, що використання запираючого діода у шунтуючій вітці значно полегшує перебіг досліджуваного аварійного перехідного процесу. Кількість електрики  $Q_{VD}$ , яку генерує електровоз зі схемою ПЗЗ+VD, майже в 10 разів менше кількості електрики при роботі за схемою ПЗЗ, і навіть менше, ніж у схемі ПП. Тривалість генераторного режиму найменша для схеми ПЗЗ+VD, це можна пояснити тим,

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Михаліченко П.Є. Вплив режиму короткого замикання в тяговій мережі постійного струму на перехідні електромагнітні процеси в електрорухомому складі / П.Є. Михаліченко, Т.М. Міщенко, М.О. Костін // Електротехніка і Електромеханіка. – 2010. – № 4. – С. 63-66.
2. Михаліченко П.Є. Вплив пасивних фільтрів на електромагнітний стан в режимі короткого замикання в системі тягового електропостачання постійного струму/ П.Є. Михаліченко// Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Силова електроніка та енергоефективність. – 2010. – Ч. 2 – С. 195-200.
3. Костин Н.А. Математическое моделирование переходных аварийных электромагнитных процессов в системе электрической тяги постоянного тока. 1. Короткое замыкание без тяговой нагрузки/ Н.А. Костин, П.Е. Михаліченко// Вісник ДІПТа. – 2007. – Вип. 17.– С. 66-71.
4. Михаліченко П.Є. Математичне моделювання перехідних аварійних електромагнітних процесів в системі електричної тяги постійного струму. 2. Ко-

що до виникнення КЗ магнітне поле ТЕД вже було послаблено на 57%, а після запирання діода схема ГТЕД змінилася (рис. 2, б) і процеси продовжили протікати, як при ПП. Слід зазначити, що також зменшилася в 6,4 рази кількість електрики, що проходить через точку КЗ, а тому практично малоймовірно, що виникне перепал КП.

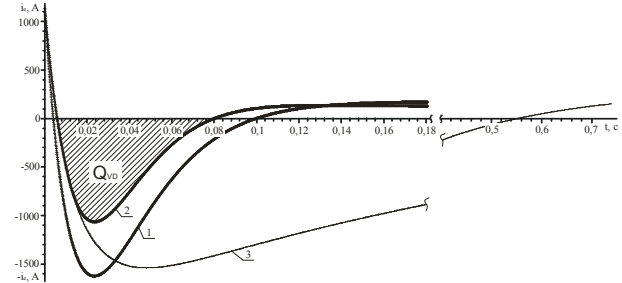


Рис. 6. Часові залежності генераторного струму електровозу, при різних схемах збудження ТЕД:  
1 – ПП; 2 – ПЗЗ+VD; 3 – ПЗЗ

#### Висновки

1. Режим КЗ в ТМ є енергетично небезпечним аварійним режимом для СЕТ постійного струму.
2. Схема послаблення збудження ГТЕД з використанням запираючого діода VD є достатньо дієвою для зменшення впливу генераторних струмів на ТМ; її можна застосовувати на ЕРС постійного струму з традиційною контакторно-реостатною системою керування серієними ТЕД.

#### REFERENCES

1. Mihalichenko P. E., Mishhenko T. M., Kostin M. O. *Vplyv rezhymu korotkoho zamykannya v tyahovij merezhi postijnogo strumu na perexidni elektromahnitni procesy v elektroruxomomu skladi* [The influence of the short circuit condition in the contact system on electromagnetic processes in direct current electric train] // *Elektrotexnika i Elektromexanika - Sci-Tech. magazine «Electrical Engineering & Electromechanics»*, 2010, No. 4, pp. 63-66.
2. Mihalichenko, P.E. *Vplyv pasyvnyx filtriv na elektromahnitnyj stan v rezhymi korotkoho zamykannya v systemi tyahovoho elektropostachannya postijnogo strumu* [Influence passive filter on electromagnetic condition in mode of the short circuit in system of tractive supply of the direct current] // *Texnichna elektrodyna-mika. Tem. vyp. «Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist» - Sci-Tech. magazine Technical electrodynamic. «Power electronics & efficiency»*, 2010, Ch. 2, pp. 195-200.
3. Kostin, N.A., Mihalichenko P. E. *Matematicheskoe modelirovanie perehodnyih avariynyih elektro-*



роткое замыкание з електрорухомим складом/ П.Є. Михаліченко// Вісник ДІТА. – 2010. – Вип. 32. – С. 175-179.

5. Михаліченко П.Є. Математичне моделювання перехідних аварійних електромагнітних процесів в системі електричної тяги постійного струму/ П.Є. Михаліченко, М.О. Костін// Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. – 2008. – Ч. 2 – С. 31-35.

6. Сердинов С.М. Повышение надежности устройств электроснабжения электрифицированных железных дорог/ С.М. Сердинов. – М.: Транспорт, 1985. – 301 с.

7. Векслер М.И. Защита тяговой сети постоянного тока от токов короткого замыкания/ М. И. Векслер. – М.: Транспорт, 1976. – 120 с.

8. Пупынин В.Н. Защита и отключение тяговых сетей в аварийных режимах: диссертация доктора технических наук [Текст] / В. Н. Пупынин.– М.: МИИТ, 1986. –340 с.

9. Тушканов, Б. А. Магистральные электровозы переменного тока ВЛ60 и ВЛ80/ Б.А. Тушканов, В.И. Бочаров, В.В. Крузе.– М.: Транспорт, 1964. – 555 с.

10. Марченко Ю.В. Обслуживание и эксплуатация электровозов ВЛ60 и ВЛ80/ Ю.В. Марченко.– М.: Транспорт, 1965. – 255 с.

Надійшла до друку 25.03.2013.

**Ключові слова:** система електричної тяги, електрорухомий склад, тяговий електричний двигун, математична модель, коротке замикання, обмотка збудження, кількість електрики, магнітний потік, перехідний процес, перехідний струм.

*magnitnyih protses-ov v sisteme elektricheskoy tyagi postoyannogo toka. 1. Korotkoe zamykanie bez tyagovoy nagruzki* [Mathematical simulation of transient emergency electromagnetic processes-owls in the system of the electric traction DC. 1. Short circuit without the traction load] // *Visnyk DNUZT - News DNUZT*, 2007, Vyp. 17, pp. 66-71

4. Mihalichenko P. E. *Matematychnye modelyuvannya perexidnyx avarijnyx elektromahnitnyx procesiv v systemi elektrychnoy tyahy postijnoho strumu. 2. Korotke zamykannya z elektroruxomym skladom* [Mathematical simulation of transient emergency electromagnetic processes in the system of the electric traction DC. 2. Short circu with traction load] // *Visnyk DNUZT - News DNUZT*, 2010, Vyp. 32, pp. 175-179.

5. Mihalichenko P. E., Kostin M. O. *Matematychnye modelyuvannya perexidnyx avarijnyx elektromahnitnyx procesiv v systemi elektrychnoy tyahy postijnoho strumu* [Mathematical simulation of transient emergency electromagnetic processes in the system of the electric traction DC] // *Texnichna elektrodynamika. Tem. vyp. «Problemy suchasnoyi elektrotexniki» - Technical electro-dynamics. Theme issue. Problems of modern electrical engineering*, 2008, Ch. 2, pp. 31-35.

6. Serdinov S. M. *Povyishenie nadezhnosti ustroystv elektrosnabzheniya elektrifitsirovannyih zheleznyih dorog* [Increasing to reliability device supply of the electrified railways]. Moscow: Transport, 1985. 301 p.

7. Veksler M. I. *Zaschita tyagovoy seti postoyannogo toka ot tokov korotkogo zamykaniya* [Protection of direct current traction network from short circuit currents]. Moscow: Transport, 1976. 120 p.

8. Pupyinin V.N. *Zaschita i otklyuchenie tyagovyih setey v avariynyih rezhimah: thesis for a Doctor's degree* [Protection and disabling traction networks in emergency modes]. Moscow: MIIT, 1986. 340 p.

9. Tushkanov B. A. , Bocharov V.I., Kruze V.V. *Magistralnyie elektrovozyi peremennogo toka VL60 i VL80* [Mainline electric locomotives of alternating current VL60 and VL80]. Moscow: Transport, 1964. 555 p.

10. Marchenko Y.V. *Obsluzhivanie i ekspluatatsiya elektrovozov VL60 i VL80* [Maintenance and operation of electric locomotives VL60 and VL80] Moscow: Transport, 1965. 255 p.

Внутрішній рецензент *Костін М. О.*

Зовнішній рецензент *Саєнко Ю. Л.*

Дослідження аварійних режимів короткого замикання в системі електричної тяги постійного струму і до сьогодні є актуальною задачею. Цей режим супроводжується протіканням надструмів і є надзвичайно небезпечним в такій потужній системі. Метою роботи є виявлення умов та механізму виникнення генераторних струмів і відповідно розробка заходів щодо зменшення їх впливу на протікання цього аварійного режиму. Дуже важливо оцінити величину і тривалість генераторних струмів в усіх режимах ведення електрорухомого складу постійного струму. Особливо це стосується режимів ослаблення поля, оскільки в шунтуючій вітці обмотки збудження присутній індуктивний елемент який накопичує велику кількість електромагнітної енергії. Під час перехідного процесу ця енергія вивільняється через точку короткого замикання. При цьому збільшується нагрів елементів контактної мережі. Дослідження короткого замикання в тяговій мережі при наявності електровозів на фідерній зоні було виконано шляхом математичного моделювання. Для цього було створено схему заміщення розглядуваної системи і для неї записано систему рівнянь електромагнітного стану. За результатами моделювання було встановлено, що у випадку ведення поїзда при послабленому збудженні кількість електрики і теплоти, що протікає через точку короткого замикання, не просто спричинить нагрів контактного проводу, а викличе його механічне руйнування. Для уникнення такого негативного явища необхідно зменшити вплив індуктивного елемента шунтуючої вітки. Для вирішення цієї проблеми автором запропоновано використання запираючого діода в цій вітці. Використання такого заходу дозволяє значно зменшити тривалість і максимальне значення генераторного струму що виділяє електровоз постійного струму. Отже зменшуються пошкодження елементів контактної мережі.

© Михаліченко П. Є., 2013

УДК 621.332.3:621.311

П. Е. МИХАЛИЧЕНКО (ДНУЖТ)

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, кафедра «Электротехники и электромеханики», ул. Лазаряна 2, г. Днепропетровск, 49010, Украина, тел.: +38(056)373-15-37, эл. почта: [miha\\_pavel@mail.ru](mailto:miha_pavel@mail.ru)

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ТЯГОВОЙ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ПЕРЕЖОГ КОНТАКТНОГО ПРОВОДА

Исследование аварийных режимов короткого замыкания в системе электрической тяги постоянного тока и сегодня актуально. Для этого режима характерно протекание сверхтоков и поэтому он является очень опасным для такой мощной системы. Целью работы является определение условий и механизма возникновения генераторных токов и как следствие разработка средств уменьшения их влияния на протекание аварийного процесса. Важно оценить значение и продолжительность генераторных токов в различных режимах ведения электроподвижного состава постоянного тока. Особенно это касается режимов ослабления поля, поскольку в шунтирующей ветви обмотки возбуждения присутствует индуктивный элемент. Этот элемент способен накапливать большое количество электромагнитной энергии. Во время переходного процесса эта энергия высвобождается через точку короткого замыкания. При этом увеличивается нагрев элементов контактной сети. Исследование короткого замыкания в тяговой сети при наличии электровозов на фидерной зоне было выполнено математическим моделированием. Для этого была создана схема замещения рассматриваемой системы и для нее записана система уравнений электромагнитного состояния. Результаты моделирования показали, что в случае ведения поезда при ослаблении возбуждения количество электричества и теплоты, которые протекают через точку короткого замыкания, не только нагревает контактный провод, но может даже вызвать его механическое разрушение. Чтобы не допустить этого, необходимо уменьшить влияние индуктивного элемента шунтирующей ветви. Для реализации этого средства предложено использовать запирающий диод в этой ветви. Это средство позволяет уменьшить продолжительность и максимальное значение генераторного тока, который выделяет электровоз постоянного тока. Таким образом, уменьшаются повреждения контактной сети.

**Ключевые слова:** система электрической тяги, электроподвижной состав, тяговый электрический двигатель, математическая модель, короткое замыкание, обмотка возбуждения, количество электричества, магнитный поток, переходный процесс, переходный ток.

Внутренний рецензент *Костин Н. А.*

Внешний рецензент *Саенко Ю. Л.*

UDC 621.332.3:621.311

P. E. MIHALICHENKO (DNURT)

Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Ac. V. Lazarian, Department of Electrical engineering and electromechanics, 2 Lazarian Street, Dnipropetrovsk, 49010, Ukraine, tel.: +38(056)373-15-37, e-mail: [miha\\_pavel@mail.ru](mailto:miha_pavel@mail.ru)

## IMPACT OF THE SHORT-CIRCUIT IN DC TRACTION NETWORK ON BURNED THROUGH THE CONTACT WIRES

Study of emergency short circuit in the system of electronic electric traction and DC relevant today. For this regime is characterized by a leak overcurrents and therefore it is very dangerous for such a powerful system. The aim of the work is the determination of the conditions and mechanism of occurrence of the generator current, and as a consequence of the development of the means of reducing their impact on the flow of accidention process. It is important to assess the value and duration of the generator of the currents in a variety of modes of electric rolling stock permanent strength of the current. This especially concerns the mode of the weakening of the field, because in shunting branches of the field there is an inductive element. This element is able to accumulate a large amount of electromagnetic energy. During the transition process of this energy is released through the point of a short circuit. This increases the heating elements of the contact network. Study of the short circuit in traction network in the presence of electric locomotives on the feeder zone was performed mathematical modeling. For this scheme was set up replacement of the system and for it is written system of equations of the electromagnetic with standing. The simulation results have shown that in the case of a train when attenuation of excitation of the amount of electricity and heat, which flow through the point of the short-circuit not only heats the contact wire, but may even cause it to mechanical destruction. To prevent this, it is necessary to reduce the influence of inductive element shunting branches. For realization of this equipment offered to the use of barrier diode in this branch. This tool allows you to reduce to the duration and the maximum value of the generator current, which allocates the electric locomotive of direct current. Thus, the reduced damage the contact network.

**Keywords:** electric traction system, electric locomotive, electric traction motor, mathematical model, short circuit, excitation winding, quantity of electricity, magnetic flux, transient, transient current.

Internal reviewer *Kostin N. A.*

External reviewer *Saenko U. L.*

© Михаліченко П. Є., 2013