

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

## ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРОЦЕСИ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПРИ ПЕРЕКРИТТІ ЧИ ПРОБОЇ ДАХОВОГО ІЗОЛЯТОРА ЕЛЕКТРОВОЗА

### Вступ

Ця робота є продовженням і розвитком досліджень [1-6] по моделюванню аварійних режимів, які спостерігаються в пристроях системи електричної тяги (СЕТ) постійного струму. Найбільш частим аварійним режимом є режим короткого замикання. Однією із причин останнього, яка часто трапляється і при якій закорочується весь електровоз, є перекриття чи пробій навіть одного із дахових ізоляторів, на яких змонтовано струмоприймач.

### Математична модель

Розглянемо цей режим, у випадку коли на фідерній зоні рухаються два електровоза ДЕ1; позначимо їх як ЕРС1 і ЕРС2 (рис. 1). З'єднання тягових електричних двигунів (ТЕД)

обох ЕРС прийнято «СП», струм номінальний, швидкість ЕРС1, ЕРС2 визначаємо за електро-механічними характеристиками; перекриття дахового ізолятора відбувається на ЕРС1. Відстань від другої тягової підстанції (ТП2) до ЕРС2 змінюємо за величинами 5, 7, 9 км (якщо відстань не вказана, то без ЕРС2).

Математична модель електромагнітних процесів в досліджуваному режимі описується системою рівнянь (1)–(20).

Рівняння (9)–(12), що описують процеси в швидкодіючому вимикачі (ШВ) ТП, слід записати для кожного з ШВ обох тягових підстанцій ТП1 і ТП2. Рівняння електромагнітних процесів в ЕРС (18)–(20) слід розглядати для кожного з ЕРС1 і ЕРС2.

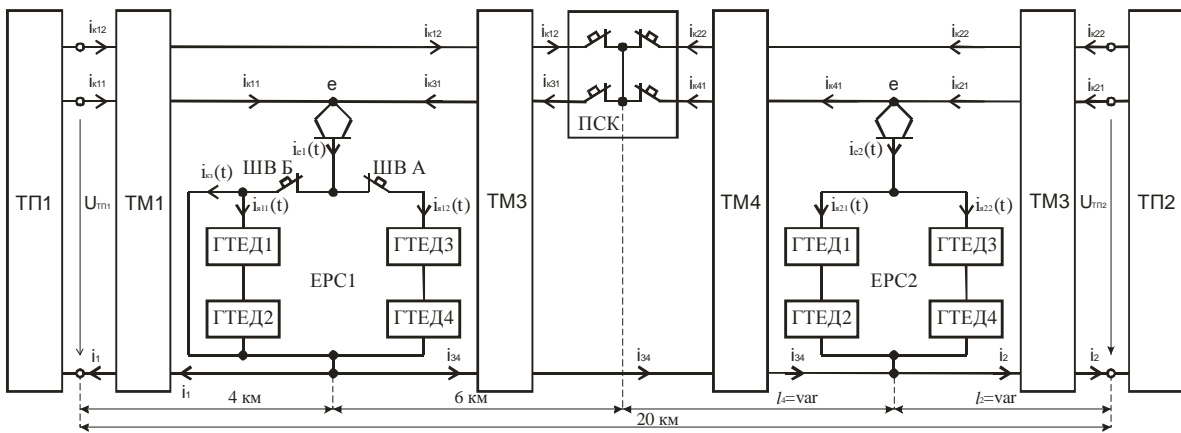


Рис. 1. Схема заміння СЕТ в режимі перекриття дахового ізолятора ЕРС

$$\begin{aligned} & (R_{T1} + R_{Пс1} + R_{Зр1} + R_{P1} + R_{O1}) \cdot i_1 + (L_{T1} + L_{Зр1} + L_{O1}) \frac{di_1}{dt} + R_{iш1-1} \cdot i_{iш1-1} + L_{iш1-1} \frac{di_{iш1-1}}{dt} + \\ & + R_{iш1-2} \cdot i_{iш1-2} + L_{iш1-2} \frac{di_{iш1-2}}{dt} + R_{K1} \cdot i_{K11} + L_{K1} \frac{di_{K11}}{dt} = e_{Пс1}(t); \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & (R_{T2} + R_{Пс2} + R_{Зр2} + R_{P2} + R_{O2} + R_{P3}) \cdot i_2 + (L_{T2} + L_{Зр2} + L_{O2}) \frac{di_2}{dt} + R_{iш2-1} \cdot i_{iш2-1} + \\ & + L_{iш2-1} \frac{di_{iш2-1}}{dt} + R_{iш2-2} \cdot i_{iш2-2} + L_{iш2-2} \frac{di_{iш2-2}}{dt} + R_{K2} \cdot i_{K21} + L_{K2} \frac{di_{K21}}{dt} + R_{K3} \cdot i_{K31} + \\ & + L_{K3} \frac{di_{K31}}{dt} + R_{K4} \cdot i_{K41} + L_{K4} \frac{di_{K41}}{dt} + (R_{P3} + R_{P4}) \cdot i_{34} = e_{Пс2}(t); \end{aligned} \quad (2)$$

$$(R_{K1} + R_{K3}) \cdot i_{K12} + (L_{K1} + L_{K3}) \frac{di_{K12}}{dt} + R_{K3} \cdot i_{K31} + L_{K3} \frac{di_{K31}}{dt} - R_{K1} \cdot i_{K11} - L_{K1} \frac{di_{K11}}{dt} = 0; \quad (3)$$

$$-4(R_{Я} + R_{ДП} + R_{КО} + R_3) \cdot i_{Я11} - 4L_{Я} \frac{di_{Я11}}{dt} - 2p\sigma_3\omega_3 \frac{d}{dt}(\Phi_{11} + \dots + \Phi_{14}) = C_w\omega(\Phi_{11} + \dots + \Phi_{14}); \quad (4)$$

$$-4(R_{Я} + R_{ДП} + R_{КО} + R_3) \cdot i_{Я12} - 4L_{Я} \frac{di_{Я12}}{dt} - 2p\sigma_3\omega_3 \frac{d}{dt}(\Phi_{15} + \dots + \Phi_{18}) = C_w\omega(\Phi_{15} + \dots + \Phi_{18}); \quad (5)$$

$$-4(R_{Я} + R_{ДП} + R_{КО} + R_3) \cdot i_{Я21} - 4L_{Я} \frac{di_{Я21}}{dt} - 2p\sigma_3\omega_3 \frac{d}{dt}(\Phi_{21} + \dots + \Phi_{24}) + R_{K4} \cdot i_{K41} + L_{K4} \frac{di_{K41}}{dt} + R_{K3} \cdot i_{K31} + L_{K3} \frac{di_{K31}}{dt} = C_w\omega(\Phi_{21} + \dots + \Phi_{24}); \quad (6)$$

$$-4(R_{Я} + R_{ДП} + R_{КО} + R_3) \cdot i_{Я22} - 4L_{Я} \frac{di_{Я22}}{dt} - 2p\sigma_3\omega_3 \frac{d}{dt}(\Phi_{25} + \dots + \Phi_{28}) + R_{K4} \cdot i_{K41} + L_{K4} \frac{di_{K41}}{dt} + R_{K3} \cdot i_{K31} + L_{K3} \frac{di_{K31}}{dt} = C_w\omega(\Phi_{25} + \dots + \Phi_{28}); \quad (7)$$

$$R_{K2} \cdot i_{K22} + L_{K2} \frac{di_{K22}}{dt} - R_{K4} \cdot i_{K41} - L_{K4} \frac{di_{K41}}{dt} - R_{K2} \cdot i_{K21} - L_{K2} \frac{di_{K21}}{dt} = 0; \quad (8)$$

$$i_{Ш1}R_{Ш1} + L_{Ш1} \frac{di_{Ш1}}{dt} - i_{РВ1}R_{РВ1} - L_{РВ1} \frac{di_{РВ1}}{dt} = 0; \quad (9)$$

$$i_{Ш2}R_{Ш2} + L_{Ш2} \frac{di_{Ш2}}{dt} - i_{РВ2}R_{РВ2} - L_{РВ2} \frac{di_{РВ2}}{dt} = 0; \quad (10)$$

$$i_1 - i_{Ш1} - i_{РВ1} = 0; \quad (11)$$

$$i_1 - i_{Ш2} - i_{РВ2} = 0; \quad (12)$$

$$i_1 - i_{K11} - i_{K12} = 0; \quad (13)$$

$$i_2 - i_{K21} - i_{K22} = 0; \quad (14)$$

$$i_{21} - i_{Я21} - i_{Я22} - i_{41} = 0; \quad (15)$$

$$i_{Я11} + i_{Я12} + i_{K3} - i_{34} - i_1 = 0; \quad (16)$$

$$i_{K22} + i_{K41} + i_{K12} - i_{K31} = 0. \quad (17)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{Я} - i_{\mu 1} + i_{ВХР1} &= 0; \\ \dots & \\ i_{Я} - i_{\mu 8} + i_{ВХР8} &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{\mu 1} &= f(\Phi_1(t)); \\ \dots & \\ i_{\mu 8} &= f(\Phi_8(t)); \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

$$\left. \begin{aligned} R_{ВХР}^{ЗГ} \cdot i_{ВХР1} + \sigma_3 w_3 \frac{d\Phi_1}{dt} &= 0; \\ \dots & \\ R_{ВХР}^{ЗГ} \cdot i_{ВХР8} + \sigma_3 w_3 \frac{d\Phi_8}{dt} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

де  $\sigma_3$  – коефіцієнт розсіювання обмотки збудження ТЕД;  $i_{ВХР}$  – вихровий струм в остові ТЕД;  $\Phi_{11} \dots \Phi_{18}, \Phi_{21} \dots \Phi_{28}$  – основні магнітні потоки тягових двигунів відповідно ЕРС1 і ЕРС2;  $i_{Я11}, i_{Я12}, i_{Я21}, i_{Я22}$  – струми якорів відповідно ЕРС1 і ЕРС2;  $i_{\mu}$  – струм намагнічення ста-

нини відповідного ТЕД, який є нелінійною функцією основного магнітного потоку  $\Phi(t)$  [5]:

$$i_{\mu}(\Phi) = a' + b' \cdot \Phi + c' \cdot \Phi^2 + d' \cdot \Phi^3 + e' \cdot \Phi^4 + f' \cdot \Phi^5 + k' \cdot \Phi^6,$$

де  $a', b', c', d', e', f', k'$  – коефіцієнти полінома.

### Результати та аналіз чисельних розрахунків

Згідно з рис. 1, перекриття дахового ізолятора першого електровоза (далі ЕРС1 або електровоза №1) призводить до закорочування всього ЕРС1. В цьому режимі, незалежно від наявності чи відсутності на фідерній зоні другого поїзда, тобто ЕРС2, і відстані  $l_2$  його розташування, струм  $i_{K11}$  фідера 1 ТП1 і струм  $i_{e1}$  електровоза №1 обмежуються лише невеликими значеннями активного і індуктивного опорів тягової мережі (ТМ), що відповідають її довжині  $l_1=4$  км (рис. 1). І тому ці струми швидко, перший за 3 мс, а другий – за 0,028 с, досягають уставок відповідно 1900 А і 3000 А і ШВ11 фідера 1 через 0,032 с (при відсутності поки що електровоза №2) (рис. 2), а потім ШВ електровоза №1 через 0,062 с (рис. 3) вимикаються. Одночасно з ШВ цього електровоза спрацьовує і ШВ ПСК, оскільки струм  $i_2(t)$  теж досягає уставки 3000 А (рис. 4).

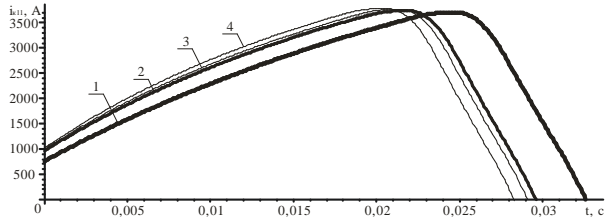


Рис. 2. Часові залежності струму живлячого фідера ТП1 в режимі короткого замикання на ЕРС1 при різній відстані від ЕРС2 до ТП2  $l$ : 1 – ЕРС2 відсутній; 2 – 5 км; 3 – 7 км; 4 – 9 км

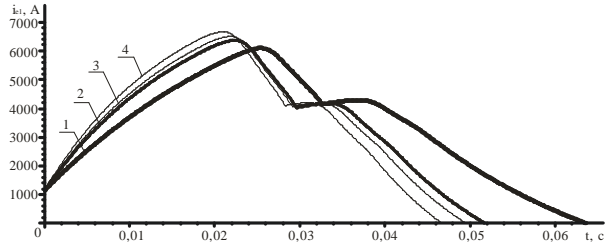


Рис. 3. Часові залежності струму ЕРС1 для умов рис. 2

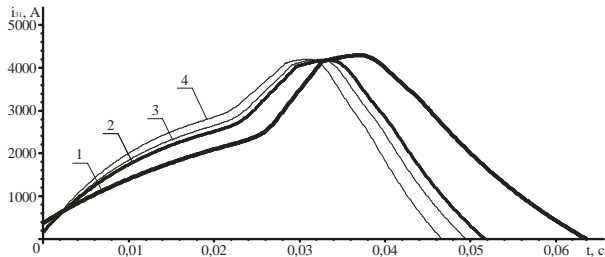


Рис. 4. Часові залежності струму фідера ПСК для умов рис. 2

Істотно, що в момент КЗ струми ТЕД закороченого електровоза №1 миттєво, зі швидкістю  $1,19 \cdot 10^5$  А/с, стають генераторними, досягаючи 1900 А (рис. 5), і через «закоротку» зі струмом  $\sim 10000$  А (рис. 6) живлять точку КЗ.

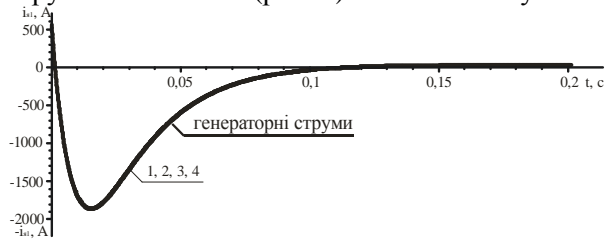


Рис. 5. Часові залежності струму якоря ЕРС1 для умов рис. 2

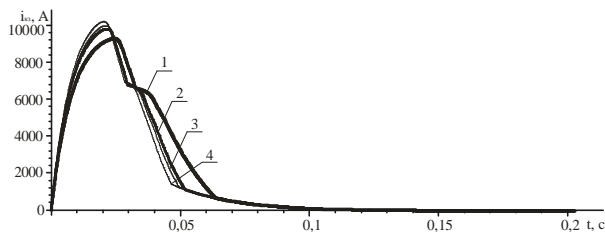


Рис. 6. Часові залежності струму КЗ для умов рис. 2

Одночасно, зворотний характер струмів двигунів електровоза №1 розмагнічує їх магнітні системи (рис. 7), в результаті зменшуються проти-е.р.с., тому після вимикання ШВ елект-

ровоза струми двигунів спадають до нуля за 0,12 с (рис. 5).

Наявність другого електровозу на фідерній зоні зміщує, як впливає із рис. 6-8, перехідні криві «вліво», тобто в область менших термінів спрацьовування ШВ. Такий самий вплив чинить відстань  $l_2$ . Отже, чим ближче електровоз №2 знаходиться до точки КЗ (до електровозу №1), тим раніше, приблизно на 0,01...0,012 с, спрацьовують швидкодіючі вимикачі. Крім цього, зазначені фактори (певно, за рахунок дії проти-е.р.с ТЕД електровоза №2) обумовлюють збільшення на 600...700 А максимум перехідного струму першого електровозу (рис. 3), який досягає 6600 А.

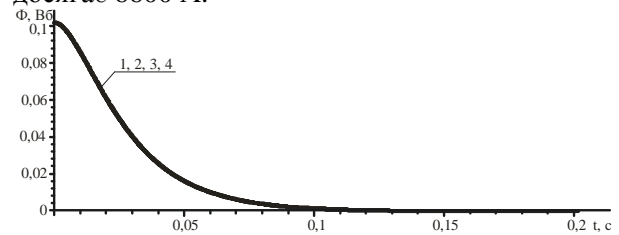


Рис. 7. Часові залежності основного магнітного потоку ТЕД ЕРС1 і ЕРС2 для умов рис. 2

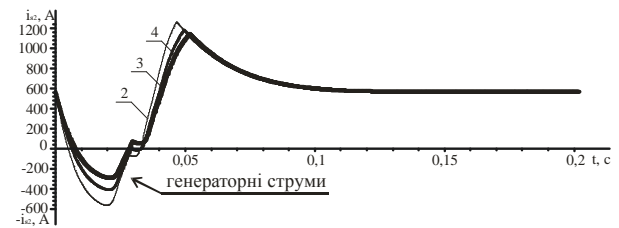


Рис. 8. Часові залежності струму якоря ЕРС2 для умов рис. 2

Повне закорочування електровозу №1 схематично (рис. 1) являє собою режим КЗ в ТМ і тому закономірно, що тягові двигуни електровозу №2 (рис. 8) і, отже, весь електровоз (рис. 9) переходять в генераторний режим і своїми проти-е.р.с. живлять не лише точку КЗ (точку дотику струмоприймача електровоза №1 з контактним проводом), але ще й обумовлюють зворотний характер струму  $i_{k12}(t)$  фідера 2 ТП1 (рис. 10).

Збільшення максимального значення генераторних струмів зі зростанням відстані  $l_2$  (рис. 8-10) від 5 до 9 км (відносно ТП2) зменшується відстань між електровозами, тобто чим ближче електровоз №2 буде розташовуватись до точки КЗ, тим самим зменшується опір ТМ між електровозами, що й обумовлює підвищення  $I_{max}$  зазначених струмів.

Тривалість генераторного режиму електровозу №2 складає 0,028 с (рис. 10), що чітко відповідає терміну часу зростання струму  $i_{e1}$  першого електровозу (рис. 3). З цього моменту ча-

су, 0,028 с, тобто з моменту зменшення струму  $i_{e1}$  (рис. 3) і струму  $i_{31}(t)$  (рис. 4) тягові двигуни і вель електровоз №2 (рис. 8 і 9) переходять в двигунний режим і їх струми зростають до моменту (відповідно 0,047 і 0,052 с) вимикання ШВ електровоза №1 і ШВ ПСК.

Після цього настає усталений режим, в якому струм  $i_{e2}=1200$  А і не залежить від  $l_2$  (рис. 9). На відміну від цього нове усталене значення фідерного струму  $i_{K12}(t)$  збільшується зі зростанням  $l_2$  (рис. 10) за рахунок зменшення опору ТМ.

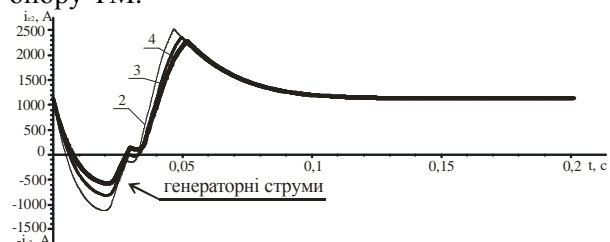


Рис. 9. Часові залежності струму EPC2 для умов рис. 2

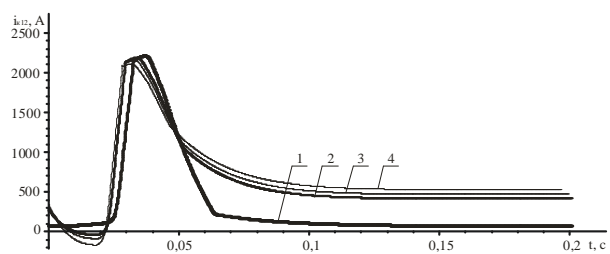


Рис. 10. Часові залежності струму другого фідера ТП1 для умов рис. 2

Збільшення максимальних значень та характер зміни фідерних струмів  $i_{K11}(t)$  (рис. 2) та  $i_{K12}(t)$  (рис. 10) однозначно впливають на підстанційний струм  $i_1(t)$  ТП1 та його пропорційну залежність від  $l_2$ , досягаючи в максимумі  $\sim 3900$  А (рис. 11).

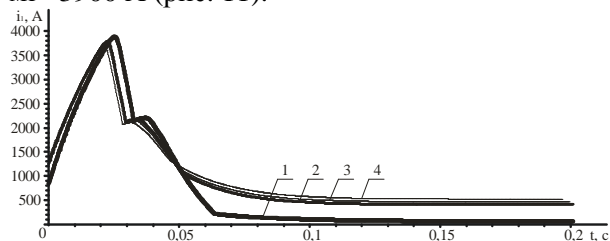


Рис. 11. Часові залежності струму ТП1 для умов рис. 2

Найбільший вплив наявності електровоза №2 та величини відстані  $l_2$  помітний на фідерних та підстанційному струмах ТП2 (рис. 12-14). За характером і термінами часу зміни фідерні струми  $i_{K21}(t)$  та  $i_{K22}(t)$  (рис. 12 і 13) і підстанційний  $i_2(t)$  (рис. 14) аналогічні підстанційному  $i_1(t)$  ТП1 (рис. 11): за термін часу 0,028 с вони зростають до максимуму, потім експоненціально зменшуються до усталеного значення після вимикання ШВ електровоза і ШВ ПСК.

Істотно, що усталені значення залежать від  $l_2$  (рис. 12-14).

Крім цього, треба підкреслити, що наявність електровоза №2 не дозволяє змінювати напрямки фідерних струмів, як це спостерігається при відсутності електровоза №2 (рис. 12-14, кр. 1).

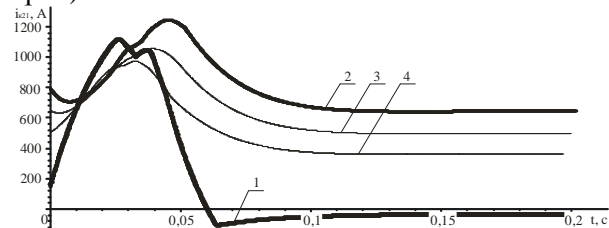


Рис. 12. Часові залежності струму живлячого фідера ТП2 для умов рис. 2

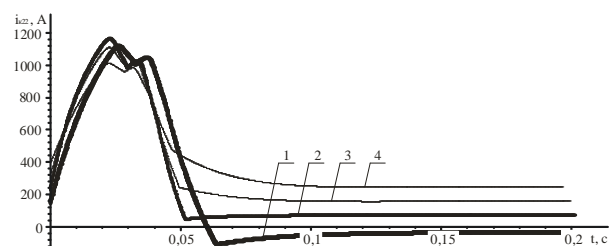


Рис. 13. Часові залежності струму другого фідера ТП2 для умов рис. 2

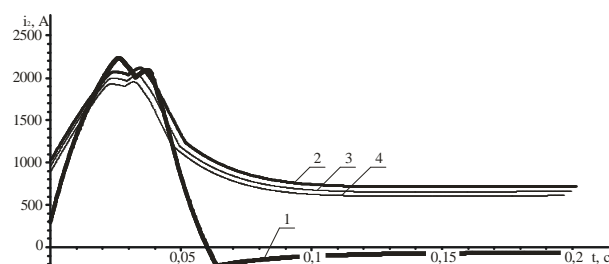


Рис. 14. Часові залежності струму ТП2 для умов рис. 2

Комутаційні процеси, що описані вище, обумовлюють різко динамічні в діапазоні 0...0,05 с зміни напруг на струмоприймачі електровоза №2 (рис. 15) і підстанційні напруги (рис. 16 і 17). І якщо наявність електровоза №2 майже не впливає на напругу ТП1 ( $U_1$ ), то на ТП2 ( $U_2$ ) цей вплив помітний (рис. 17): поперше, менший діапазон стрибкоподібної зміни, від 3400 до 2250 В і далі до 3000 В. По-друге, нове усталене значення складає не 3400 В (як на ТП1), а 3200 В.

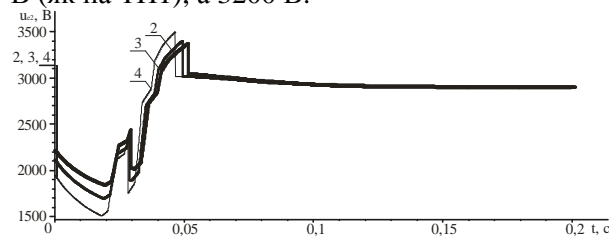


Рис. 15. Часові залежності напруги на струмоприймачі EPC2 для умов рис. 2

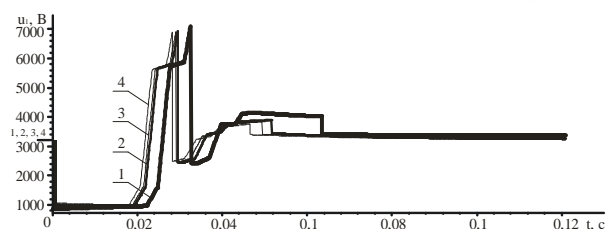


Рис. 16. Часові залежності напруги на затискачах ТП1 для умов рис. 2

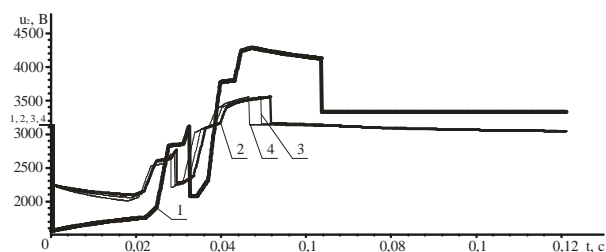


Рис. 17. Часові залежності напруги на затискачах ТП2 для умов рис. 2

### Висновки

1. В аварійному режимі перекриття чи пробою дахового ізолятора на будь-якому (із двох, що рухаються на фідерній зоні) електровозі на-

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Михаліченко, П. Є. Математичне моделювання перехідних аварійних електромагнітних процесів в системі електричної тяги постійного струму [Текст] / П.Є. Михаліченко, М.О. Костін // Технічна електродинаміка. Тематичний вип. «Проблеми сучасної електротехніки». – 2008. – Ч. 2. – С. 31-35.
2. 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. Михаліченко // Вісник ДНУЗТ. – 2007. – Вип. 17. – С. 66-71.
3. Михаліченко, П. Є. Математичне моделювання перехідних аварійних електромагнітних процесів в системі електричної тяги постійного струму. 2. Коротке замикання з електрорухомих складом [Текст] / П. Є. Михаліченко // Вісник ДНУЗТ. – 2010. – Вип. 32. – С. 175-179.
4. Михаліченко, П. Є. Генераторні струми під час коротких замикань в пристроях системи електричної тяги [Текст] / П. Є. Михаліченко // Електротехніка і Електромеханіка. – 2012. – № 6. – С. 56-60.
5. Михаліченко, П. Є. Вплив режиму короткого замикання в тяговій мережі постійного струму на перехідні електромагнітні процеси в електрорухомих складі [Текст] / П. Є. Михаліченко, Т. М. Міщенко, М.О. Костін // Електротехніка і Електромеханіка. – 2010. – № 4. – С. 63-66.
6. Михаліченко, П. Є. Вплив генераторних струмів електрорухомих складу на імовірність перепалу контактного проводу [Текст] / П. Є. Михаліченко // Залізничний транспорт України. – 2012. – № 3/4. – С. 52-55.

пруга на обох електровозах різко зменшується і їх тягові двигуни переходять в генераторний режим.

2. Найбільше і найтриваліше значення генераторного струму, що живить точку короткого замикання, спостерігається на електровозі з перекритим ізолятором; цей струм досягає уставки і захист електровоза спрацьовує.

3. В розглядуваному режимі фідерні і підстанційні струми спочатку різко зростають, в деяких випадках до небезпечних значень, а потім експоненціально зменшуються до певного усталеного значення; виняток складає струм живлячого електровоза фідера, який вимикається захистом тягової підстанції.

4. Комутаційні процеси зміни струмів обумовлюють різко динамічний характер коливань підстанційних напруг, максимальні значення яких суттєво перевищують номінальне значення 3,3 кВ.

### REFERENCES

1. Mihalichenko, P. E. Matematychnе 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] / P. E. Mihalichenko, M. O. Kostin // *Texnichna elektrodynamika. Tem. vyp. «Problemy suchasnoyi elektrotexniki» - Technical electro-dynamics. Theme issue. Problems of modern electrical engineering*, 2008, Ch. 2, pp. 31-35.
2. Kostin, N.A. Matematychnе modelirovanie perexodnyx avarijnyx elektromahnitnyx protses-ov v sisteme elektrycheskoy tyahy 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] / N. A. Kostin, P. E. Mihalichenko // *Visnyk DNUZT - News DNUZT*, 2007, Vyp. 17, pp. 66-71.
3. Mihalichenko, P. E. Matematychnе modelyuvannya perexidnyx avarijnyx elektromahnitnyx procesiv v systemi elektrychnoy tyahy postijnoho strumu. 2. Korotke zamykannja z elektroruxomym skladom [Mathematical simulation of transient emergency electromagnetic processes in the system of the electric traction DC. 2. Short circu with traction load] / Mihalichenko P. E. // *Visnyk DNUZT - News DNUZT*, 2010, Vyp. 32, pp. 175-179.
4. Mihalichenko, P. E. Heneratorni strumu pid chas korotkyx zamykan v prystroyax systemy elektrychnoy tyahy [Generating currents during a short circuit in devices of the system of the electric traction] / P. E. Mihalichenko // *Elektrotexnika i Elektromexanika - Sci-Tech. magazine «Electrical Engineering & Electromechanics»*, 2010, No. 6. pp. 56-60.
5. Mihalichenko, P. E. Vplyv rezhymu korotkoho zamykannja v tyahovij merezhi postijnoho strumu na

Надійшла до друку 25.03.2013.

**Ключові слова:** система електричної тяги, електрорухомий склад, тягова підстанція, тяговий електричний двигун, математична модель, коротке замикання, ізолятор, магнітний потік, перехідний процес, перехідний струм.

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] / P. E. Mihalichenko, T. M. Mishhenko, M. O. Kostin // *Elektrotexnika i Elektromexanika - Sci-Tech. magazine «Electrical Engineering & Electromechanics»*, 2010, No. 4, pp. 63-66.

6. Mihalichenko, P. E. Vplyv heneratorynx strumiv elektroruxomoho skladu na imovirnist perepalu kontaktnoho provodu [The influence of the generator currents of electric rolling stock on the probability of overburn contact wire] / P. E. Mihalichenko // *Zaliznychnyj transport Ukrainy- Railway transport of Ukraine*, 2012, No 3/4, pp. 52-55.

Статтю рекомендовано до друку д.т.н., професором Г. К. Гетьманом

Аварійні режими короткого замикання на електрорухомому складі є досить частим явищем і тому дослідження цього процесу в системі електричної тяги постійного струму є актуальною задачею. Особливо це стосується такого режиму як перекриття дахового ізолятора електровозу, оскільки в цьому випадку одночасно закорочується і тягова мережа і сам рухомий склад. Цей режим супроводжується протіканням надструмів як в електровозі так і в тяговій мережі і є надзвичайно небезпечним для обох підсистем.

Метою роботи є дослідження електромагнітних процесів і особливостей протікання цього режиму. Виявлення найбільш інформаційних маркерів цього режиму, дозволить відрізнити його від інших аварійних режимів.

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 в аварійному режимі перекриття дахового ізолятора на електровозі напруга на ньому різко зменшується і тягові двигуни переходять в генераторний режим. Генераторний струм досягає уставки і захист електровозу спрацьовує. В розглядуваному режимі фідерні струми тягових підстанцій спочатку різко зростають до небезпечних значень, а потім експоненціально зменшуються до певного усталеного значення. Комутаційні процеси зміни струмів обумовлюють різко динамічний характер коливань підстанційних напруг, максимальні значення яких суттєво перевищують номінальне значення.

Застосування методів математичного моделювання дозволяє досліджувати процеси в такій складній системі якою є система електричної тяги постійного струму навіть з двома електровозами. За результатами досліджень визначені особливості протікання перехідних електромагнітних величин в системі.

УДК 621.332.3:621.311

П. Е. МИХАЛИЧЕНКО, Н. А. КОСТИН (ДНУЖТ)

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

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ ПЕРЕКРЫТИИ ИЛИ ПРОБОЕ КРЫШЕВОГО ИЗОЛЯТОРА ЭЛЕКТРОВОЗА

Аварийные режимы короткого замыкания на электроподвижном составе достаточно частое явление и поэтому исследование этого процесса в системе электрической тяги постоянного тока является актуальной задачей. Особенно это касается такого режима, как перекрытие крышевого изолятора электровоза, поскольку в это случае одновременно закорачиваются и тяговая сеть и сам подвижной состав. Этот режим сопровождается протеканием сверхтоков и является очень опасным для обеих подсистем.

Целью работы является исследование электромагнитных процессов и особенностей протекания этого режима. Нахождение наиболее информационных маркеров этого режима, позволит отличать его от других аварий.

Исследование короткого замыкания при наличии двух электровозов на фидерной зоне было выполнено математическим моделированием. Для этого была создана схема замещения рассматриваемой системы и для неё записана система уравнений электромагнитного состояния. За результатами моделирования было установлено, что в аварийном режиме перекрытия крышевого изолятора, напряжение на электровозе резко уменьшается, и тяговые двигатели переходят в генераторный режим. Генераторный ток достигает уставки и защита электровоза срабатывает. В рассматриваемом режиме фидерные токи тяговых подстанций сначала резко возрастают до опасных значений, а потом экспоненциально уменьшаются до определенного установившегося значения. Коммутационные процессы изменения токов обуславливают резко динамический характер колебания подстанционных напряжений, максимальные значения которых значительно превышают номинальные значения.

© Михаліченко П.Є., Костін М.О., 2013

Использование методов математического моделирования позволяет исследовать процессы в такой сложной системе как система электрической тяги постоянного тока даже с несколькими электровозами. По результатам исследований определены особенности протекания переходных электромагнитных величин в системе.

**Ключевые слова:** система электрической тяги, электроподвижной состав, тяговая подстанция, тяговый электрический двигатель, математическая модель, короткое замыкание, изолятор, магнитный поток, переходный процесс, переходный ток.

Статью рекомендовано к печати д.т.н, профессором *Г. К. Гетьманом*

**UDC 621.332.3:621.311**

**P. E. MIHALICHENKO, N. A. KOSTIN (DNURT)**

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

## **ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN THE DC ELECTRIC TRACTION SYSTEM WITH OVERLAPPING OR BREAK ELECTRIC LOCOMOTIVE'S ROOF INSULATOR**

The malfunctions short circuit on электроподвижном composition is quite common and that is why the study of this process in the system of the electric traction DC is an urgent task. Especially it concerns such a regime, as overlap roof insulator of electric locomotive, because in this case at the same time short-circuit and power train and myself rolling stock. This mode is accompanied by a flow of current and is very dangerous for both subsystems.

The aim of the work is the research of electromagnetic processes and features of course of this regime. Find the most informative markers of this regime, will allow to differentiate it from other accidents.

A study of the short-circuit in the presence of two 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 status. The results of the simulation, it was established that in case of an emergency operation overlap roof insulator, the voltage of the electric locomotive is dramatically reduced, and the traction motors are moving in the generator mode. Generator current reaches the set point and protection of the electric locomotive works. In this mode the feeder currents of traction substations first escalate to dangerous levels, and then exponentially reduced to a steady-state value. Switching the processes of change of currents cause sharply dynamic nature of the fluctuations of voltage substation, maximum values of which considerably exceed the rated values.

The use of methods of mathematical modeling allows you to explore the processes in such a complex system as the system of the electric traction DC even with several electric locomotives. According to the results of studies identified features of transient electromagnetic variables in the system.

**Keywords:** electric traction system, electric rolling stock, traction substation, electric traction motor, mathematical model, short-circuit, insulator, magnetic flux transition, current transient.

Prof. *G. K. Getman*, D. Sc. (Tech.) recommended this article to be published.