

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК [621.423:621.3.024] : 62.332.3.011.3

О. О. КАРЗОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Електротехніка та електромеханіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, ел. пошта karzova@i.ua

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ НА ЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗРОСТАННЯ СТРУМУ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМИКАННЯХ У СИЛОВИХ КОЛАХ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

Мета. Дослідження впливу параметрів контактної мережі на значення швидкості зростання струму при короткому замиканні, а також на різницю значень цих параметрів за різних схем з'єднання тягових електродвигунів у силовому колі. **Методика.** Запропоновано математичну модель і методику для визначення впливу параметрів контактної мережі, а саме індуктивності та активного опору контактного дроту, на швидкість зростання струму при короткому замиканні. Окрім цього визначається вплив швидкостей зростання струму на їх різницю в силових колах електровозу постійного струму за різних точок виникнення короткого замикання, різних варіантів з'єднання тягових електродвигунів і різних відстаней електровозу від тягової підстанції. Запропоновані модель та методика можуть бути використані для будь-якого типу електровозу постійного струму при будь-якій точці виникнення короткого замикання в колі тягових двигунів. **Результати.** Встановлено якісний і кількісний вплив параметрів контактної мережі на значення швидкості зростання струму при короткому замиканні та на значення різниці цих параметрів за різних схем з'єднання тягових електродвигунів. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано метод дослідження з визначення впливу параметрів контактної мережі на швидкість зростання струму короткого замикання та на різницю цих параметрів при різних відстанях електровозу від тягової підстанції. **Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані при виборі установки захисних пристроїв силових кіл електрорухомого складу, в яких в якості контрольованого параметру виступає швидкість зростання струму у разі короткого замикання.

Ключові слова: параметри контактної мережі; коротке замикання; швидкість зростання струму; індуктивність; активний опір; електровози; тягова підстанція; тягові електродвигуни

Вступ

Виникнення режиму короткого замикання (КЗ) в силових колах електрорухомого складу (ЕРС) призводить до значних пошкоджень та виходу з ладу електрообладнання, якщо захисні пристрої не спрацюють достатньо швидко і чітко. Тому поглиблені дослідження вказаного режиму з метою використання найновішої елементної бази для вдосконалення захисних пристроїв є завжди актуальними.

Мета

Метою цієї роботи є дослідження впливу параметрів контактної мережі на значення швидкості зростання струму ($\frac{di_k}{dt}$), а також на різницю значень цього параметру при різних схемах з'єднання тягових електродвигунів у силовому колі.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Методика

Як параметри контактної мережі (КМ) постійного струму в роботі прийняті індуктивність контактної мережі ($L_{\text{км}}$) та активний опір контактної дроту мережі ($R_{\text{км}}$) залежно від відстані між живлячою тяговою підстанцією (ТП) та електрорухомим складом.

Для досягнення поставленої мети в роботі виконані дослідження за двома варіантами [7]:

1) коротке замикання виникло у певній точці кола тягових електродвигунів (ТЕД) електровоза постійного струму при номінальній напрузі джерела живлення ($U_{\text{дж1}} = 3\,000\text{ В}$). Тобто у цьому випадку перехідний процес досліджено за умови, що параметри контактної мережі не враховуються;

2) коротке замикання виникло у тій же точці силового кола ЕРС при номінальній напрузі джерела живлення ($U_{\text{тп}} = 3\,300\text{ В}$) (напруга на шинах тягової підстанції). Тобто, у цьому випадку перехідний процес досліджено з урахуванням параметрів контактної мережі.

Для першого варіанта досліджень створена математична модель (1) [2, 4, 5, 9].

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dI_{\text{я}}}{dt} &= \frac{U_{\text{дж1}} - n_{\text{дв}} k \Phi \omega_{\text{дв}} - n_{\text{дв}} (R_{\text{я}} + R_{\text{зб}}) I_{\text{я}}}{n_{\text{дв}} (L_{\text{я}} + 2 p w_{\text{оз}} (\sigma - 1) \frac{d\Phi}{dI_{\text{я}}})}, \\ 1,23R_{m1}\Phi_1 + g_{\mu} \frac{d\Phi_1}{dt} + \Phi(R_{mi} - R_{m1}) &= w_{\text{екв}} I_{\text{оз}} + F_{\text{нлк}}; \\ 5,29R_{m1}(\Phi - \Phi_1) + 0,477g_{\mu} \frac{d(\Phi - \Phi_1)}{dt} + \Phi(R_{mk} - R_{m1}) &= w_{\text{екв}} I_{\text{оз}} + F_{\text{нлк}}; \end{aligned} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dI_{\text{я}}}{dt} &= \frac{U_{\text{дж2}} - n_{\text{дв}} k \Phi \omega_{\text{дв}} - n_{\text{дв}} (R_{\text{я}} + R_{\text{зб}}) I_{\text{я}}}{n_{\text{дв}} (L_{\text{я}} + 2 p w_{\text{оз}} (\sigma - 1) \frac{d\Phi}{dI_{\text{я}}}) + L_{\text{км}}}, \\ 1,23R_{m1}\Phi_1 + g_{\mu} \frac{d\Phi_1}{dt} + \Phi(R_{mi} - R_{m1}) &= w_{\text{екв}} I_{\text{оз}} + F_{\text{нли}}; \\ 5,29R_{m1}(\Phi - \Phi_1) + 0,477g_{\mu} \frac{d(\Phi - \Phi_1)}{dt} + \Phi(R_{mk} - R_{m1}) &= w_{\text{екв}} I_{\text{оз}} + F_{\text{нли}}. \end{aligned} \right. \quad (2)$$

У формулі (1) $n_{\text{дв}}$ – кількість тягових електродвигунів; $I_{\text{я}}$ – струм якоря силового кола

ЕРС; p – число пар головних полюсів ТЕД;

$L_{\text{я}} + 2 p w_{\text{оз}} (\sigma - 1) \frac{d\Phi}{dI_{\text{я}}} = L_{\text{дин}}$ – динамічна індуктивність, під якою розуміється індуктивність обмоток збудження головних полюсів з урахуванням динаміки зміни струму збудження в режимі короткого замикання; $w_{\text{оз}}$ – кількість витків котушки збудження головного полюсу; σ – коефіцієнт розсіювання головних полюсів; $w_{\text{екв}} I_{\text{оз}}$ – магніторушійна сила збудження головних полюсів; $F_{\text{нлк}}$ – частина магніторушійної сили k -ї ділянки магнітної характеристики ГП, що створює магнітний потік головних полюсів.

Модель (1) враховує дію вихрових струмів в магнітопроводі ТЕД та динамічної індуктивності обмоток збудження на величину $\frac{di_{\text{к}}}{dt}$ при різних варіантах з'єднання тягових електродвигунів (послідовному «С», послідовно-паралельному «СП» та паралельному «П») та різних точках виникнення КЗ в силовому колі.

Для визначення впливу параметрів контактної мережі на значення $\frac{di_{\text{к}}}{dt}$ при коротких за-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

миканнях в силових колах електрорухомого складу постійного струму за варіантом 2 модель (1) набуде вигляду (2), де $U_{дж2}$ – номінальна напруга на шинах тягової підстанції з урахуванням падіння напруги від активного опору контактної дроту [6]:

$$U_{дж2} = U_{тп} - I_{я} R_{км}. \quad (3)$$

Індуктивність контактної мережі $L_{км}$ визначається за формулою [6]:

$$L_{км} = L_0 l, \quad (4)$$

де $L_0 \approx 1,2$ мГн/км – питома індуктивність контактної мережі постійного струму [1]; l – розрахункова відстань від живлячої ТП до електровоза.

При дослідженні прийнято $l = 0, 5, 10, 15, 20$ км.

Для прикладу використано дані для магістрального електровоза постійного струму ДЕ1 [10]. Тому номінальний струм якоря дорівнює: $I_{я,ном} = 565$ А.

При питомому активному опорі контактної дроту мережі $\rho_{км} \approx 0,04$ Ом/км розрахунковий активний опір контактної мережі буде дорівнювати [1]:

$$R_{км} = \rho_{км} l. \quad (5)$$

Результати розрахунку за (3)–(5) наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри контактної мережі постійного струму

Table 1

Parameters of contact network of direct current				
l , км	5	10	15	20
$U_{дж}$, В	3187	3074	2961	2848
$R_{км}$, Ом	0,2	0,4	0,6	0,8
$L_{км}$, Гн	0,006	0,012	0,018	0,024

При використанні математичних моделей (1) та (2) і наведених в табл. 1 даних отримано криві залежності струму КЗ від часу $i_k = f(t)$ при виникненні короткого замикання в точці 3

силового кола ЕРС (рис. 1) без урахування впливу параметрів КМ (за математичною моделлю (1)) та з урахуванням впливу параметрів КМ (за математичною моделлю (2)) [3].

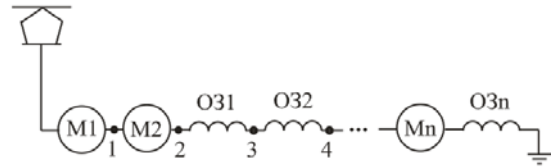


Рис. 1. Варіанти виникнення короткого замикання при послідовному з'єднанні ТЕД частини секції електровоза постійного струму

Fig. 1. Variants of short circuit occurring with series connection of traction electric engine of the part of DC electric locomotive section

Дослідження виконані при послідовному з'єднанні ТЕД. Також прийнято, що КЗ виникло в той момент часу, коли швидкість електровоза відповідала швидкості, при якій здійснюється перехід з одного з'єднання ТЕД на інше (у цьому випадку з послідовного з'єднання на послідовно-паралельне). Тому $V = 3,14$ м/с. Струм якоря при цьому прийнято номінальному значенню.

Результати досліджень у вигляді кривих наведені на рис. 2:

$i_{к0} = f(t)$ – крива залежності струму короткого замикання від часу за умови, що електровоз знаходиться біля тягової підстанції ($l = 0$ км);

$i_{к5} = f(t)$ – крива залежності струму КЗ від часу за умови, що електровоз знаходиться на відстані 5 км від ТП;

$i_{к10} = f(t)$ – крива залежності струму КЗ від часу за умови, що електровоз знаходиться на відстані 10 км від ТП;

$i_{к15} = f(t)$ – крива залежності струму КЗ від часу за умови, що електровоз знаходиться на відстані 15 км від ТП;

$i_{к20} = f(t)$ – крива залежності струму КЗ від часу за умови, що електровоз знаходиться на відстані 20 км від ТП.

Взаємне розташування кривих на рис. 2 зумовлене співвідношенням впливів $L_{дин}$, $R_{км}$ та $L_{км}$.

$\frac{di_k}{dt}$ визначено на трьох ділянках наведених на рис. 2 характеристик: прямолінійній, «колійній» та ділянці, близькій до сталого значення.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

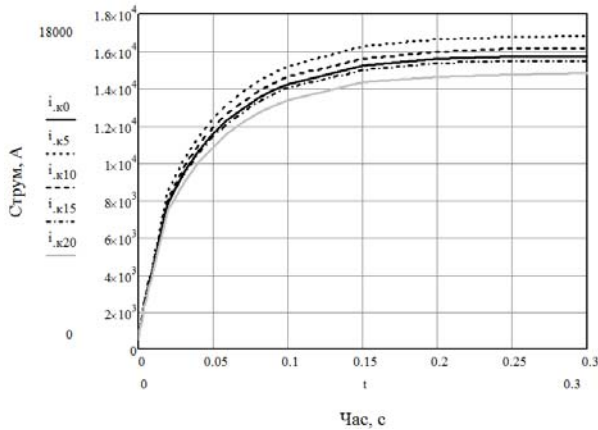


Рис. 2. Криві залежності струму короткого замикання від часу за різних варіантів параметрів контактної мережі при «С» з'єднанні ТЕД

Fig. 2. Dependence curves of short circuit current on the time in different variants of contact networks parameters with «S» connection of electric traction engine

З рис. 2 видно, що прямолінійна ділянка займає проміжок часу від 0 до 0,01 с, «коліно» – від 0,01 до 0,1 с., після часу 0,1 с починається ділянка, близька до сталого значення.

На рис. 3 зображена, як приклад, збільшена за масштабом прямолінійна ділянка кривих залежностей струму КЗ від часу.

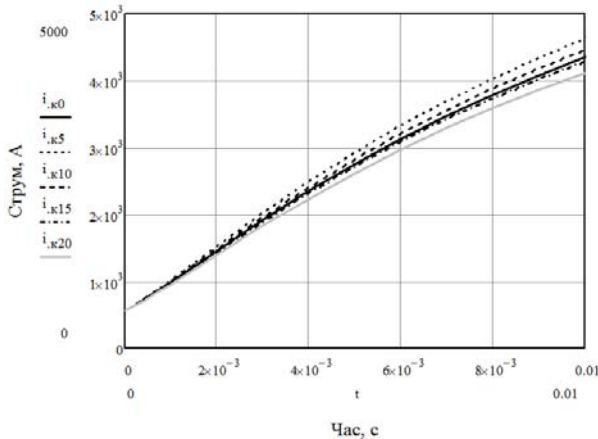


Рис. 3. Збільшена за масштабом прямолінійна ділянка кривих залежностей струму короткого замикання від часу

Fig. 3. Increased on a scale tangent section of curves of short circuit current on time

Швидкість зростання струму короткого замикання визначена на початку кожної з трьох ділянок за час 0,0001 с, як час реагування сучасних мікроконтролерів [8, 11–13] за такою формулою:

$$\frac{di_k}{dt} = \frac{i_{kt} - i_k(t - \Delta t)}{\Delta t}, \quad (6)$$

де i_k – зростання струму короткого замикання при зміні часу $\Delta t = 0,0001$ с.

Як приклад наведена розрахована за (6) швидкість зростання струму при КЗ на прямолінійній ділянці для варіанта, коли не враховуються параметри контактної мережі (рис. 4).

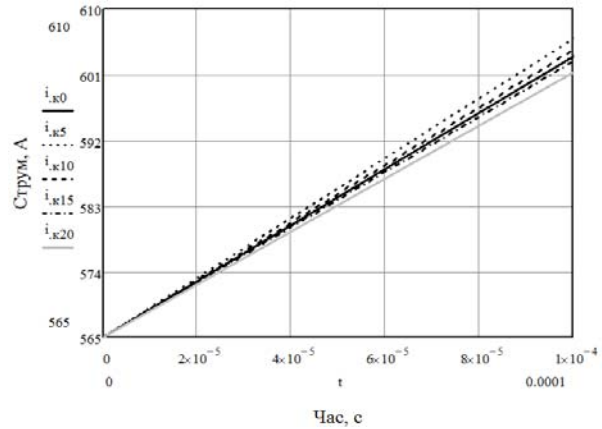


Рис. 4. Збільшений за масштабом початок прямолінійної ділянки кривих залежностей струму короткого замикання від часу

Fig. 4. Increased on a scale beginning of tangent section of curve dependences of short circuits current on time

$$\frac{di_k}{dt} = \frac{603,4 - 565}{0,0001} = 384\,000 \text{ А/с.}$$

Для порівняння значення $\frac{di_k}{dt}$ у двох варіантах дослідження використана така формула:

$$\gamma_1 = \frac{\left(\frac{di_k}{dt}\right)_{l \neq 0}}{\left(\frac{di_k}{dt}\right)_{l=0}} 100, \%. \quad (7)$$

Різниця швидкості зростання струму при КЗ знаходиться за виразом (8):

$$\gamma_2 = \left| \frac{\left(\frac{di_k}{dt}\right)_{l \neq 0} - \left(\frac{di_k}{dt}\right)_{l=0}}{\left(\frac{di_k}{dt}\right)_{l=0}} \right| 100, \%. \quad (8)$$

Якщо порівняти, наприклад, $\frac{di_k}{dt}$ у варіанті, коли $l=0$, та у варіанті, коли $l=5$ км, на прямолінійній ділянці за (7) та (8), то отримуємо:

Результати досліджень при «С» з'єднанні ТЕД

Table 2

Research results with «S» connection of electric traction engine

Варіант	$U_{дж}$, В	l , км	Прямолінійна ділянка				«Коліно»				Ділянка, близька до сталого значення			
			Δi_k , А	di_k/dt , А/с	γ_1 , %	γ_2 , %	Δi_k , А	di_k/dt , А/с	γ_1 , %	γ_2 , %	Δi_k , А	di_k/dt , А/с	γ_1 , %	γ_2 , %
1	3000	0	603,4	384000	—	—	26	260000	—	—	0,58	5800	—	—
2	3187	5	605,9	409000	106,5	6,5	27,2	272000	104,6	5,7	0,6	6000	103,4	3,4
	3074	10	604,4	394000	102,6	2,6	27	270000	103,8	3,8	0,59	5900	101,7	1,7
	2961	15	602,8	378000	98,4	1,6	25	250000	96,1	3,8	0,56	5600	96,5	3,4
	2848	20	601,3	363000	94,5	5,5	24,5	245000	94,2	5,7	0,55	5500	94,8	5,1

$$\gamma_1 = \frac{409\,000}{384\,000} 100 = 106,5\%;$$

$$\gamma_2 = \left| \frac{250\,000 - 234\,000}{250\,000} \right| 100 \approx 6,4\%.$$

Аналогічно знайдена швидкість зростання струму на двох інших ділянках залежностей $i_k = f(t)$ та виконані розрахунки за (7) та (8).

Результати

Результати визначення Δi_k (зміни струму короткого замикання при зміні часу 0,0001 с), а також розрахунку за (6)–(8) внесені до табл. 2

При порівнянні варіанту при $l = 0$ км та варіанту, коли електровоз знаходиться на якійсь відстані від ТП, різниця швидкості зростання струму КЗ (табл. 2) при всіх ділянках характеристик буде складати приблизно 6,5 % і менше. Більша різниця буде на прямолінійній ділянці.

Значення швидкості зростання струму при короткому замиканні більшим буде теж на прямолінійній ділянці.

Тому в подальшому значення γ_1 та γ_2 при різних з'єднаннях тягових електродвигунів у силовому колі ЕРС визначені тільки на прямолінійних ділянках залежності $i_k = f(t)$.

При використанні моделей (1) та (2) для дослідження впливу параметрів контактної мережі на значення та різницю швидкості зростання

струму КЗ при «СП» та «П» з'єднанні ТЕД прийнято, що КЗ виникло в тій же точці силового кола, що і при «С» з'єднанні ТЕД, а швидкість електровоза дорівнює $V = 6,8$ м/с та $V = 14,36$ м/с відповідно. Дослідження для паралельного з'єднання ТЕД виконано при повному збудженні.

Результати досліджень у вигляді кривих наведені на рис. 5 та рис. 6.

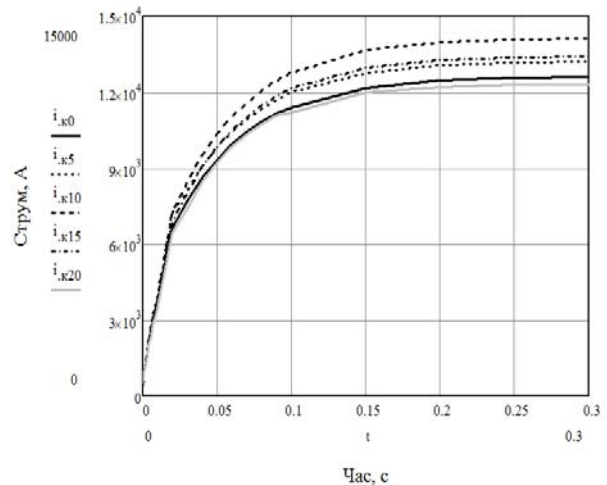


Рис. 5. Криві залежності струму короткого замикання від часу при різних варіантах параметрів контактної мережі при «СП» з'єднанні ТЕД

Fig. 5. Curves of dependence of short circuit current on time with different variants of contact network parameters with «SP» connection of electric traction engine

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

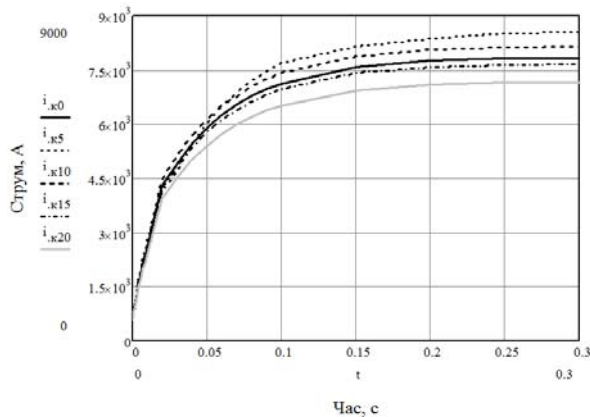


Рис. 6. Криві залежності струму короткого замикання від часу за різних варіантів параметрів контактної мережі при «П» з'єднанні ТЕД

Fig. 6. Curve dependence of short circuit current on time with different variants of contact network parameters with «P» connection of electric traction engine

Результати розрахунків за (6)–(8) внесені в табл. 3 та 4.

Таблиця 3

Результати досліджень при «СП» з'єднанні ТЕД

Table 3

Research results with «SP» connection of electric traction engine

Варіант	$U_{дж}$, В	l , км	Δi_k , А	di_k/dt , А/с	γ_1 , %	γ_2 , %
1	3000	0	599,1	341000	–	–
2	3187	5	600,9	359000	105,3	5,2
	3074	10	599,3	343000	100,5	0,6
	2961	15	597,8	328000	96,2	3,8
	2848	20	596,3	313000	91,8	8,2

Таблиця 4

Результати досліджень при «П» з'єднанні ТЕД

Table 4

Research results with «P» connection of electric traction engine

Варіант	$U_{дж}$, В	l , км	Δi_k , А	di_k/dt , А/с	γ_1 , %	γ_2 , %
1	3000	0	588	23000	–	–
2	3187	5	590,6	25600	111,3	11,3

Продовження табл. 4

End of table 4

Варіант	$U_{дж}$, В	l , км	Δi_k , А	di_k/dt , А/с	γ_1 , %	γ_2 , %
	3074	1	589	24000	104,3	4,3
	2961	1	587,5	22500	97,8	2,2
	2848	2	586	21000	91,3	8,7

Подібні дослідження можна виконати для напруг контактної мережі 2 200 В та 4 000 В [1].

Наукова новизна та практична значимість

Вперше запропоновано метод дослідження з визначення впливу параметрів контактної мережі на швидкість зростання струму короткого замикання та на різницю цього параметра при різних відстанях електровоза від тягової підстанції. Отримані результати мають практичне значення. Вони можуть бути використані під час вибору вставки захисних пристроїв силових кіл, в яких в якості контролюємого параметру виступає di_k/dt .

Висновки

Вплив параметрів контактної мережі на значення di_k/dt та на значення різниці цього параметра при різних з'єднаннях тягових електродвигунів найбільший на прямолінійній частині залежності $i_k = f(t)$. Наприклад, для електровоза ДЕ1 ця різниця знаходиться в межах від 0,6 % (γ_2 в табл. 3) до 11,3 % (γ_2 табл. 4); γ_1 при цьому дорівнює від 91,3 % до 111,3 % (табл. 4).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Большая энциклопедия транспорта : в 8 т. / – М. : Науч. изд-во «Большая Российская энциклопедия», 2003. – Т. 4. – 1039 с.
2. Дубинець, Л. В. Швидкість зміни струму при короткому замиканні в силових колах електро рухомого складу з урахуванням вихрових струмів / Л. В. Дубинець, О. О. Карзова, Ю. С. Бондаренко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 34. – С. 69–72.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

3. Дьяконов, В. Maple 7 : учеб. курс / В. Дьяконов. – СПб. : Питер, 2002. – 672 с.
4. Карзова, О. О. Визначення швидкості зміни струму у колах тягових двигунів електрорухомого складу при різних режимах роботи / О. О. Карзова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 24. – С. 57–60.
5. Копылов, И. П. Математическое моделирование электрических машин : учеб. для вузов / И. П. Копылов. – 3-е изд., перер. и доп. – М. : Высш. шк., 2001. – 327 с.
6. Преобразовательные устройства электропоездов с асинхронными тяговыми двигателями / А. М. Солодунов, Ю. М. Иньков, Г. Н. Коваливкер, В. В. Литовченко. – Рига : Зинантне, 1991. – 351 с.
7. ГОСТ 6962-75. Транспорт электрифицированный с питанием от контактной сети. Ряд напряжений. – Введ. 1977-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 6 с.
8. Устименко, Д. В. Сучасні мікроконтролери в схемах рухомого складу / Д. В. Устименко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2007. – Вип. 15. – С. 47–49.
9. Чорний, О. П. Моделирование электромеханических систем / О. П. Чорний, А. В. Луговой, Д. Й. Родькін. – Кременчук, 2001. – 410 с.
10. Электровоз магистральный ДЭ-1. Техническое описание. ЗТП.000.020-03 ТО. – 1999. – 188 с.
11. Pearce, J. M. Open-Source Lab. How to Build Your Own Hardware and Reduce Research Costs / Joshua M. Pearce. – Elsevier Science, 2014. – 244 p.
12. Measurement of Power Frequency with Higher Accuracy Using PIC Microcontroller / K. Alama, T. Chakraborty, S. Pramanik (Chaudhury) et al. // Computational Intelligence: Modeling Techniques and Applications (CIMTA) 2013 (27.09–28.09.2013). – Kalyani : Procedia Technology, 2013. – P. 849–855.
13. Studying the effects of intermittent faults on a microcontroller / D. Gil-Tomás, J. Gracia-Morán, J.-Carlos Baraza-Calvo et al. – Microelectronics Reliability. – 2012. – Iss. 11. – P. 2837–2846.

О. А. КАРЗОВА^{1*}

^{1*}Каф. «Электротехника и электромеханика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 47, эл. почта karzova@i.ua

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ЗНАЧЕНИЕ СКОРОСТИ НАРАСТАНИЯ ТОКА ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ В СИЛОВЫХ ЦЕПЯХ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Цель. Исследование влияния параметров контактной сети на значения скорости нарастания тока при коротком замыкании, а также на разницу значений этих параметров при различных схемах соединения тяговых электродвигателей в силовой цепи. **Методика.** Предложена математическая модель и методика для определения влияния параметров контактной сети, а именно индуктивности и активного сопротивления контактного провода, на скорость нарастания тока при коротком замыкании. Помимо этого, определяется влияние скоростей роста тока на их разницу в силовых цепях электровоза постоянного тока при различных точках возникновения короткого замыкания, различных вариантах соединения тяговых электродвигателей и различных расстояниях электровоза от тяговой подстанции. Предложенные модель и методика могут быть использованы для любого типа электровоза постоянного тока при любой точке возникновения короткого замыкания в цепи тяговых двигателей. **Результаты.** Установлены качественное и количественное влияния параметров контактной сети на значения скорости нарастания тока при коротком замыкании и на значение разности этих параметров при различных схемах соединения тяговых электродвигателей. **Научная новизна.** Впервые предложен метод исследования по определению влияния параметров контактной сети на скорость нарастания тока короткого замыкания и на разницу этих параметров при различных расстояниях электровоза от тяговой подстанции. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы при выборе установки защитных устройств силовых цепей электроподвижного состава, в которых в качестве контролируемого параметра выступает скорость нарастания тока при коротком замыкании.

Ключевые слова: параметры контактной сети; короткое замыкание; скорость нарастания тока; индуктивность; активное сопротивление; электровозы; тяговая подстанция; тяговые электродвигатели

O. A. KARZOVA^{1*}

^{1*}Dep. «Electrical Engineering and Electromechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 47, e-mail karzova@i.ua

INFLUENCE OF CONTACT NETWORK PARAMETERS ON VALUE OF CURRENT RISE SPEED DURING SHORT CIRCUIT IN POWER CIRCUITS OF ELECTRIC ROLLING STOCK

Purpose. Influence investigation of contact system parameters on current rate of rise during short circuit, and the difference of these parameter values under different connection diagrams of traction motors in the power circuit. **Methodology.** The mathematical model and method for determining the effect of the contact system parameters, such as inductance and active resistance of the contact wire, on rise speed during the short circuit current were offered. Besides that, it is determined the influence of current speeds on their difference in power circuits of DC electric locomotive in different points of short circuit, different variants of traction electric engines connection and different distances of electric locomotives from the traction substation. The proposed model and method can be used for any type of electric DC locomotive at any point of a short circuit in traction engine circuit. **Findings.** Qualitative and quantitative influence of contact system parameters on values of current rise speed during short circuit and on the differences value of these parameters with different connection diagram of traction electric engines was established. **Originality.** The investigation method concerning determination of the influence of contact system parameters on current rise speed in short circuit and on the difference of these parameters on different distances of electric locomotives from traction substation was proposed. **Practical value.** The results can be used in selection of protective devices of rolling stock power circuits, where the main parameter is the current rise speed during the short circuit.

Keywords: contact system parameters; short circuit; current rise speed; inductance; active resistance; electric locomotives; traction substation; electric traction engines

REFERENCES

1. *Bolshaya entsiklopediya transporta* [Large transport encyclopedia]. Moscow, Nauchnoye izdatelstvo «Bolshaya Rossiyskaya entsiklopediya» Publ., 2003, vol. 4, 1039 p.
2. Dubynets L.V., Karzova O.O., Bondarenko Yu.S. Shvydkist zminy strumu pry korotkomu zamykanni v sylovykh kolakh elektrorukhomoho skladu z urakhuvanniam vykhrovykh strumiv [Rate of change of short circuit current in the power circuits of electric rolling stock, taking into account the eddy currents]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2010, issue 34, pp. 69-72.
3. Dyakonov V. Maple 7. Saint Petersburg, Piter Publ., 2002. 672 p.
4. Karzova O.O. Vyznachennia shvydkosti zminy strumu u kolakh tiahovykh dvyhuniv elektrorukhomoho skladu pry riznykh rezhymakh roboty [Determination of current change rate in circuits of traction motors of electric rolling stock under different operating conditions]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 24, pp. 57-60.
5. Kopylov I.P. *Matematicheskoye modelirovaniye elektricheskikh mashin* [Mathematical modeling of electrical machines]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2001. 327 p.
6. Solodunov A.M., Inkov Ju.M., Kovalivker G.N., Litovchenko V.V. *Preobrazovatelnyye ustroystva elektropoyezdov s asinkhronnymi tyagovymi dvigatelyami* [Converting electric devices with asynchronous traction motors]. Riga, Zinantne Publ., 1991. 351 p.
7. *GOST 6962-75. Transport elektrifitsirovanny s pitaniyem ot kontaktnoy seti. Ryad napryazheniy* [State Standard 6962-75. Electrified transport with overhead catenary supply. Contact series]. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1978. 6 p.
8. Ustyenko D.V. Suchasni mikrokontrolery v skhemakh rukhomoho skladu [Modern microcontrollers in the schemes of rolling stock]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2007, issue 15, pp. 47-49.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

9. Chornyi O.P., Luhovyi A.V., Rodkin D.Y. *Modeliuvannia elektromekhanichnykh system* [The modeling of electromechanical systems]. Kremenchuk, 2001. 410 p.
10. *Elektrovoz magistralnyy DE1. Tekhnicheskoye opisaniye. 3TP.000.020-03 TO* [Main line electric locomotive DE1. Technical description. 3TP.000.020 TO-03.]. 1999. 188 p.
11. Pearce Joshua M. Open-Source Lab. How to Build Your Own Hardware and Reduce Research Costs. Elsevier Science Publ., 2014. 244 p.
12. Alama K., Chakraborty T., Pramanik (Chaudhury) S., Sarddara D., Mal S. Measurement of Power Frequency with Higher Accuracy Using PIC Microcontroller. *Computational Intelligence: Modeling Techniques and Applications (CIMTA)*. Kalyani, 2013, pp. 849-855.
13. Gil-Tomás D, Gracia-Morán J. J.-Carlos Baraza-Calvo, Luis-J. Saiz-Adalid, Pedro-J. Gil-Vicente. Studying the effects of intermittent faults on a microcontroller. *Microelectronics Reliability*, 2012, issue 11, pp. 2837-2846.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Л. В. Дубинцем (Україна); д.т.н., проф. Ф. П. Шкрабцем (Україна)

Надійшла до редколегії 05.02.2014

Прийнята до друку 24.03.2014