

Розраховано опір згорнутих схем заміщення опор контактної мережі об'єднаних тросом групового заземлення в залежності від частоти джерела живлення, та місця знаходження низькоомної опори. Побудовані графіки для порівняння з вимірними даними при визначенні несправних опор контактної мережі

Ключові слова: контактна мережа, трос групового заземлення, низькоомна опора, частота

Расчитано сопротивление свернутых схем замещения опор контактной сети объединенных тросом группового заземления в зависимости от частоты источника питания и места нахождения низькоомной опоры. Построены графики для сравнения с измеренными данными при определении неисправных опор контактной сети

Ключевые слова: контактная сеть, трос группового заземления, низькоомная опора, частота

МЕТОД ЗНАХОДЖЕННЯ НИЗЬКООМНИХ ОПОР БЕЗ ВІДЄДНАННЯ ВІД ГРУПОВОГО ЗАЗЕМЛЕННЯ

О. Н. Полях

Кандидат технічних наук

Кафедра електропостачання залізниць
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна

вул. ак. В.Лазаряна 2,

м. Дніпропетровськ, Україна, 49010

E-mail: Polyah1956@mail.ru

1. Вступ

Несучі конструкції контактної мережі, до яких належать опори, є відповідальними нерезервованими елементами системи електропостачання електрифікованих залізниць. Надійність опор контактної мережі визначає безперебійність і безпеку руху потягів. Тому питанням міцності залізобетонних опорних конструкцій приділялася особлива увага як на стадії розробки і проектування, так і на стадії виготовлення і експлуатації.

На Укрзалізниці в 2012 році експлуатується 37,7% опор з терміном служби більше 40 років. В порівнянні з 2011 роком кількість їх збільшилася на 17,9%. В порівнянні з 2010 роком темпи їх заміни збільшилось в 1,55 рази. Якби не проводилася електрифікація нових ділянок, відсоток опор з терміном експлуатації більше 40 років був би ще значно вищий. План по заміні опор контактній мережі в цілому по господарствах виконаний на 268,1%. Але, не дивлячись на це, з такими темпами заміна тільки опор, які вже експлуатуються більше усередненого терміну, знадобиться майже 42 роки. За такий термін практично усі опори необхідно буде замінити. Це не реально як для залізниці так і для виробників опор контактної мережі. Вихід з цієї проблеми один використовувати повний ресурс опори а за допомогою діагностики виводити з роботи тільки конкретну несправну опору.

У 2011 році план по діагностиці виконаний на 116,5%. При цьому було виявлено 176 дефектних опор, які були замінені в першу чергу.

На електрифікованих ділянках залізниць одною з важливіших проблем є електрокорозія залізобетонних опор контактної мережі. Злам і падіння опори від дії електрокорозії майже неминуче спричиняють за собою обрив дровів контактної мережі, порушення електропостачання і режиму руху потягів.

Проведена робота по оцінці стану підземної частини опор, фундаментів і анкерів, які мають тріщини, або опір менше 100 Ом, що складають 222% від плану. [1]

2. Аналіз літературних даних и постановка проблеми

Авторами [2-10] та іншими розглянуто питання удосконалення та розробки методів діагностики опор контактної мережі. Невирішеним питанням залишається знаходження низькоомних опор без від'єднання їх від групового заземлення. Постановка проблеми в загальному вигляді полягає в наступному – розробити новий метод діагностики більш точний і ефективний, менш працездатний для знаходження низькоомних опор, що об'єднані груповим заземленням.

Мета роботи – розробити систему виявлення низькоомної опори або декілька опор без від'єднання їх від троса групового заземлення (ТГЗ).

3. Метод знаходження низькоомних опор без від'єднання від групового заземлення

Метод базується на аналізі електричних параметрів кола при різкій зміні перехідного опору «трос-земля» у місці приєднання опори до троса групового заземлення. Для чого використовують стороннє джерело живлення змінного струму підвищеної частоти.

Метод базується на зміні індуктивного та ємкісного опорів, а разом з цим і повного опору опор в колі зі стороннім джерелом живлення [3]. При приєднанні стороннього джерела живлення рис. 1 до троса групового заземлення виникає електричне коло з активними та реактивними опорами де кожна залізобетонна опора представляє собою ємність та

активний опір з'єднані паралельно, а провід ТГЗ індуктивний та активний опір з'єднані послідовно, тому можливо представити опори з груповим заземленням у вигляді наступної електричної схеми заміщення.

Із схеми рис. 2 видно, що при зміні одного опорю буде також змінюватись повний опір всього кола. Знаючи параметри схеми при нормальних умовах роботи (відсутність «вікон», інтенсивність руху, нормальна робота тягових підстанцій) можна розрахувати порушення експлуатації залізобетонних опор [4].

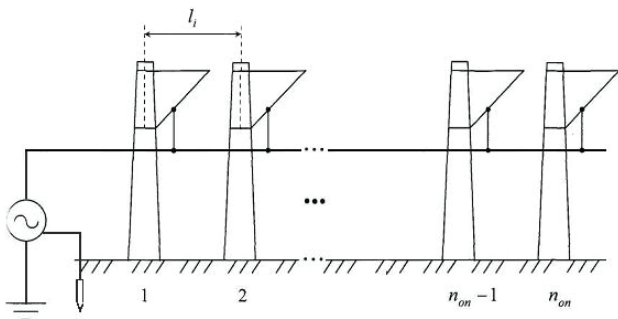


Рис.1. Підключення генератора змінного струму у коло з груповим заземленням

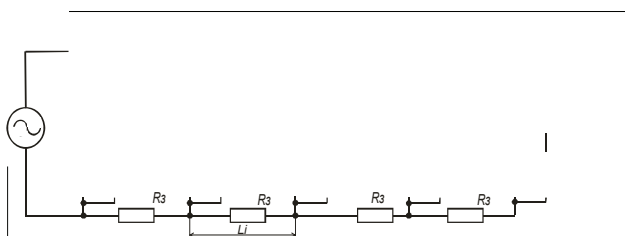


Рис.2. Схема заміщення опор контактної мережі з груповим заземленням

Залежно від значення частоти f джерела U_z такий ланцюг проявляє себе по-різному. При низьких частотах до 1 кГц індуктивний опір ТГЗ дуже малий: $x_l \rightarrow 0$, опір ємкості трос-земля - великий: $x_c \rightarrow \infty$; умови роботи ланцюга близькі до струморозподілення від джерела постійно струму, включеного вказаним способом. Для нього подовжній індуктивний опір ТГЗ практично близько до нуля. Тому опори R_0 усіх опор виявляються сполучені паралельно а зміна загального опорю при ушкодженні ізоляції бетону в одній з опор, позначається лише на зменшенні їх сумарного опорю. Виявити адресу конкретної опорю в секції контролю з ушкодженням не представляється можливим.

При збільшенні частоти f , зростає індуктивний опір x_l і зменшується опір місткості x_c . У діапазоні частот $f = 10 \dots 20$ кГц подовжній опір троса x_l на довжині l_i прольоту контактної мережі (i - число прольотів) складає 6...12 Ом і їм не можна нехтувати в загальному струморозподіленні. Даний ланцюг набуває властивість довгої лінії. В той же час опір ємкості X_c на довжині прольоту l_i , ще досить велике 100 ... 50 кОм; воно не чинить істотного впливу на струморозподілення в ланцюзі. Тому в цьому діапазоні частоти електричне коло має індуктивний характер.

При різкому зменшенні R_0 в одній з опор внаслідок ушкодження ізоляції бетону $R_{із} \rightarrow 0$, результуючий опір може бути виявлений лише з розрахунку струморозподілення усього електричного кола. При цьому істотний вплив на загальний опір чинить його подовжня складова X_l . Величина її залежить від віддаленості пошкодженної опорю від джерела U_z тобто від довжини ТГЗ.

Схема заміщення опор контактної мережі з груповим заземленням складається з наступних параметрів:

- $R_{із}$ – опір між закладною деталлю та арматурою опорю;
- R_p – опір розтікання;
- R_z – опір землі;
- $r_{гр}$ – активний опір провуда троса групового заземлення;
- X_l – індуктивний опір троса групового заземлення;
- X_c – ємкісний опір справної опорю.

Електричну схему заміщення можна привести до одного контуру методом згортання кожного контуру послідовно. Приведемо цю схему до еквівалентної з одним контуром рис. 3.

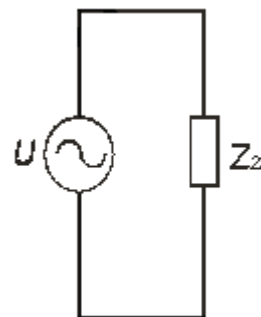


Рис. 3. Еквівалентна приведена схема

Розрахуємо індуктивний та ємкісний опори для стороннього джерела живлення при частоті 10 кГц. $X_l = 2\pi \cdot f \cdot L$

Якщо ТГЗ виконано тросом марки ПБСМ-70, його індуктивність складає:

$$L = 1.4 \cdot 10^{-3} \text{ мГн/м}$$

$$X_l = 2 \cdot 3.14 \cdot 10000 \cdot 1.4 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} = 4.396 \text{ Ом}$$

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot c}$$

Для довжини прольоту 50м, тросу ПБСМ-70 ємкість складатиме: $C = 295 \text{ пкФ}$

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot c} = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 10^4 \cdot 10^{-10} \cdot 2.95} = 53.98 \text{ кОм}$$

Якщо опора пошкоджена, то ємкісний опір зростає. X_{cn} – ємкісний опір несправної опорю дорівнює $X_{cn} = 2 \cdot X_c = 108 \text{ кОм}$.

Розрахуємо еквівалентний опір для ділянки яка має 11 опор об'єднаних тросом групового заземлення. Довжина прольоту між опорю дорівнює 50 м, тому весь проліт дорівнює 550 м, марка троса ПБСМ-70.

Активний опір кожної опорю складається $R_0 = R_{із} + R_p$:

$R_{із}$ – опір ізоляції бетону, тобто опір між закладним болтом та арматурою для кожної опорю дорівнює 10 кОм,

R_p – опір розтікання струму підземної частини опори. Він дорівнює 30-150 Ом. Розрахунки виконаємо для декількох частот 10 кГц; 50 кГц; 100 кГц та виберемо оптимальну. Спочатку виконаємо експериментальні розрахунки з низькоомною опорою №11, це означає що опір $R_{i3} = 0$, знайдемо опір опори $R_0 = R_{i3} + R_p = 0+100 = 100$ Ом

Активний опір опори №11 з'єднаний паралельно з її емкісним опором, знайдемо еквівалентний опір:

$$Z_{11} = \frac{R_p \cdot X_{CII}}{R_p + X_{CII}} = \frac{100 \cdot 108j}{100 + 108j} = 100 - 0.093j.$$

Опір Z_1 з'єднаний послідовно з тросом групового заземлення на дільниці 50 м, тобто до опори №10:

$$Z_{211} = X_1 + Z_{11} + R_3,$$

$$Z_{211} = 4.396j + 100 - 0.093j + 6000 = 6.1 \cdot 10^3 + 4.303j.$$

Еквівалентний опір двох опор №11 та №10 буде дорівнювати:

$$Z_{311} = \frac{Z_{211} \cdot R_0 \cdot X_C}{Z_{211} \cdot X_C + Z_{211} \cdot R_0 + X_C \cdot R_0}.$$

Далі розрахунки ведуться аналогічно попереднім для трьох опор №11, №10 та №9.

Аналогічні розрахунки ведуться для інших опор які можуть бути низькоомними а також для систем з двома або трьома несправними опорами. Результати зведемо до табл. 1.

Значення еквівалентного опору в залежності від знаходження низькоомної опори

Еквівалентний опір для низькоомної опори №, кОм	Довжина до джерела живлення, м										
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Z1	6,099	11,27	11,27	11,27	11,27	11,27	11,27	11,3	11,43	12,07	15,86
Z2	9,788	6,099	11,27	11,27	11,27	11,27	11,27	11,3	11,43	12,07	15,86
Z3	10,93	9,788	6,099	11,27	11,27	11,27	11,27	11,3	11,43	12,07	15,86
Z4	11,19	10,93	9,788	6,099	11,27	11,27	11,27	11,3	11,43	12,07	15,86
Z5	11,25	11,19	10,93	9,788	6,099	11,27	11,27	11,3	11,43	12,07	15,86
Z6	11,26	11,25	11,19	10,93	9,788	6,099	11,27	11,3	11,43	12,07	15,86
Z7	11,26	11,26	11,25	11,19	10,93	9,788	6,099	11,3	11,43	12,07	15,86
Z8	11,27	11,26	11,26	11,25	11,19	10,93	9,788	6,099	11,43	12,07	15,86
Z9	11,27	11,27	11,26	11,26	11,25	11,19	10,93	9,788	6,099	12,07	15,86
Z10	11,27	11,27	11,27	11,26	11,26	11,25	11,19	10,93	9,788	6,099	15,86
Z11	11,27	11,27	11,27	11,27	11,26	11,26	11,25	11,19	10,93	9,788	6,099
Z1 та 11	6,099	11,27	11,27	11,27	11,26	11,26	11,25	11,19	10,93	9,788	6,099
Z3 та 7	8,717	8,728	6,099	8,639	8,717	8,728	6,099	8,626	8,592	8,471	9,232
Z3, 5 та 7	9,232	8,471	8,592	8,626	6,099	8,728	6,099	8,728	6,099	8,728	8,717

З аналізу результатів зведених в таблицю можливо зробити висновок чим ближче пошкоджена опора до джерела живлення, тим менший еквівалентний опір. Це свідчить про те, що струм в цій опорі буде більший.

Розрахуємо струми в контурах електричної схеми заміщення. Знаючи еквівалентний опір системи та привівши цю систему до одного контуру можемо зна-

йти струми в кожній гілці розгорнувши систему до її початкового стану. Для чого скористаємось значенням напруги на генераторі, що приєднаний до троса групового заземлення. Струм у еквівалентному контурі буде

дорівнювати $I_{11} = \frac{U}{Z_{2211}}$, знайдемо його

$$I_{11} = \frac{30}{1.125 \cdot 10^4 - 658.696j} = 2.659 \cdot 10^{-3} + 1.557 \cdot 10^{-4}j.$$

Знаючи, що на кожному послідовному елементі присутнє падіння напруги розрахуємо інші струми

$$I_{211} = \frac{U - I_{11} \cdot (X_1 + R_3)}{Z_{2011}} = \frac{30 - (2.659 \cdot 10^{-3} + 1.557 \cdot 10^{-4}j) \cdot (4.396j + 6000)}{1.125 \cdot 10^4 - 658.689j} = 1.125 \cdot 10^{-3} - 1.091 \cdot 10^{-5}j$$

$$I_{311} = \frac{U - (I_{11} + I_{211}) \cdot (X_1 + R_3)}{Z_{1811}},$$

$$I_{311} = 5.85 \cdot 10^{-4} - 4.452 \cdot 10^{-5}j,$$

Таблиця 1

розрахуємо струми для кожної з опор які знаходяться у груповому заземленні та які можуть бути несправними. Результати розрахунків занесемо до табл. 2.

За результатами таблиці побудуємо графіки струмів для кожної з пошкоджених опор в залежності від довжини її знаходження.

Струмозподілення в електричному колі ТГЗ в залежності від знаходження пошкодженої опори при частоті джерела живлення 10 кГц.

Також виконаємо аналогічні розрахунки якщо у електричне коло з ТГЗ

включити стороннє джерело живлення з частотою 50 кГц та 100 кГц. Результати занесемо до табл. 3, 4.

За результатами таблиць побудуємо графіки струмів для кожної з пошкоджених опор в залежності від місця її знаходження та частоти рис. 4 – 5.

Таблица 2

Значення струму в контурах в залежності від знаходження пошкодженої опори

Струм в контурах, мкА	Довжина до джерела живлення, м										
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
I1	4919	43.28	20.31	9.535	4.476	2.101	0.9857	0.4619	0.2151	0.09721	0.03744
I2	3065	1906	16.77	7.873	3.696	1.735	0.8139	0.3814	0.1776	0.08027	0.03091
I3	2745	1387	862.4	7.588	3.562	1.672	0.7844	0.3676	0.1712	0.07736	0.0298
I4	2680	1279	645.9	401.7	3.535	1.659	0.7785	0.3648	0.1699	0.07677	0.02957
I5	2666	1256	599.2	302.7	188.3	1.656	0.7772	0.3642	0.1696	0.07665	0.02952
I6	2664	1251	589.3	281.2	142	88.34	0.7769	0.364	0.1695	0.07661	0.02951
I7	2663	125	587.2	276.6	132	66.66	41.46	0.3638	0.1694	0.07656	0.02949
I8	2663	1250	586.8	275.6	129.8	61.94	31.29	19.46	0.1688	0.07629	0.02938
I9	2663	1250	586.7	275.4	129.4	60.94	29.08	14.69	9.135	0.07505	0.02891
I10	2663	1250	586.7	275.4	129.3	60.73	28.6	13.65	6.894	4.288	0.02686
I11	2663	1250	586.7	275.4	129.3	60.68	28.5	13.43	6.406	3.236	2.012
I1 та I11	4919	43.28	20.31	9.535	4.476	2.101	0.9869	0.4649	0.2218	0.112	0.06968
I3 та I7	3442	1330	679.1	7.774	2.964	1.145	0.5849	0.00671	0.00258	0.001	0.0004
I3, I5 та I7	3442	1330	679.1	7.694	3.93	0.045	0.02274	0.00026	0.0001	0.00004	0.00001

Таблица 3

Значення струму в контурах в залежності від знаходження пошкодженої опори при частоті джерела живлення змінного струму 50 кГц

Струм в контурах, мкА	Довжина до джерела живлення, м										
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
I1	4919	48.48	21.25	9.316	4.084	1.79	0.7848	0.3443	0.1511	0.06531	0.02463
I2	3171	1866	18.4	8.064	5.535	1.549	0.6793	0.298	0.1308	0.05653	0.02132
I3	2981	1372	807.5	7.96	3.489	1.529	0.6706	0.2942	0.1291	0.0558	0.02105
I4	2978	1308	602.1	354.3	3.492	1.531	0.6712	0.2945	0.1292	0.05586	0.02107
I5	2983	1306	573.8	264.1	155.4	1.532	0.6718	0.2947	0.1293	0.0559	0.02108
I6	2986	1308	572.7	251.6	115.8	68.15	0.672	0.2948	0.1293	0.05592	0.02109
I7	2986	1309	573.4	251.1	110.3	50.76	29.87	0.2949	0.1294	0.05595	0.0211
I8	2986	1309	573.7	251.3	110	48.34	22.25	13.09	0.1295	0.05601	0.02112
I9	2986	1309	573.7	251.5	110.2	48.24	21.19	9.754	5.74	0.05589	0.02108
I10	2986	1309	573.7	251.5	110.2	48.29	21.15	9.289	4.276	2.516	0.02007
I11	2986	1309	573.7	251.5	110.2	48.32	21.17	9.269	4.072	1.874	1.103
I1 та I11	4919	48.48	21.25	9.316	4.083	1.79	0.7842	0.3434	0.1508	0.06943	0.04085
I3 та I7	2981	1372	807.5	7.938	3.487	1.605	0.9446	0.00933	0.0041	0.00177	0.00067
I3, I5 та I7	2981	1372	807.6	8.448	4.972	0.052	0.031	0.0003	0.00013	0.00006	0.00002

Таблица 4

Значення струму в контурах в залежності від знаходження пошкодженої опори при частоті джерела живлення змінного струму 100 кГц

Струм в контурах, мкА	Довжина до джерела живлення, м										
	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
I1	4919	56.37	21.63	8.299	3.184	1.222	0.4687	0.1799	0.06921	0.02677	0.0095
I2	3437	1756	20.12	7.72	2.962	1.136	0.436	0.1673	0.06439	0.0249	0.00884
I3	3442	1330	679.1	7.783	2.986	1.146	0.4396	0.1687	0.06491	0.0251	0.00891
I4	3473	1324	511.6	261.3	2.995	1.149	0.4408	0.1692	0.0651	0.02518	0.00894
I5	3477	1333	508.2	196.3	100.3	1.149	0.4409	0.1692	0.06512	0.02518	0.00889
I6	3477	1334	511.3	195	75.33	38.47	0.4409	0.1692	0.06511	0.02518	0.00894
I7	3477	1334	511.8	196.2	74.81	28.9	14.76	0.1692	0.06511	0.02518	0.00894
I8	3477	1334	511.8	196.4	75.27	28.7	11.09	5.663	0.0652	0.02521	0.00895
I9	3477	1334	511.8	196.4	75.34	28.88	11.01	4.254	2.173	0.02536	0.009
I10	3477	1334	511.8	196.4	75.34	28.91	11.08	4.225	1.632	0.8337	0.0089
I11	3477	1334	511.8	196.4	75.34	28.91	11.09	4.251	1.621	0.6262	0.3198
I1 та I11	4919	56.37	21.63	8.299	3.184	1.222	0.4687	0.1796	0.0685	0.02646	0.01352
I3 та I7	3442	1330	679.1	7.774	2.964	1.145	0.5849	0.00671	0.00258	0.001	0.000354
I3, I5 та I7	3442	1330	679.1	7.694	3.93	0.04453	0.02274	0.00026	0.0001	0.00004	0.00001

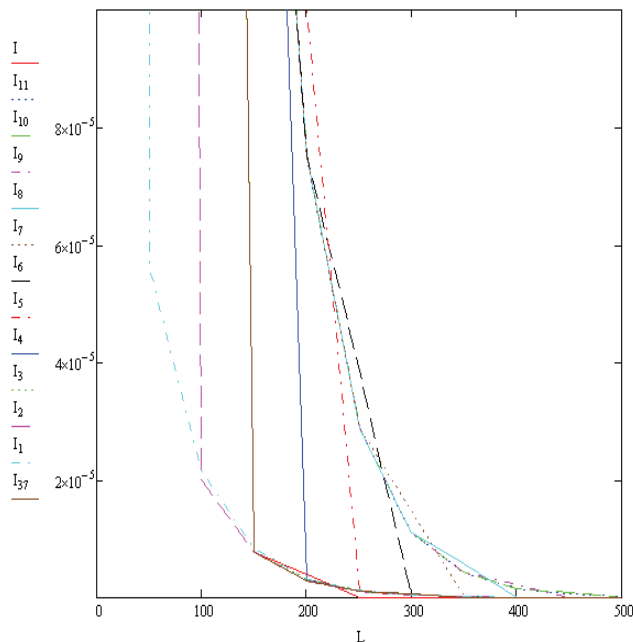


Рис. 4. Розподіл струмів у електричному колі ТГЗ в залежності від знаходження пошкодженої опори при частоті джерела живлення 100 кГц

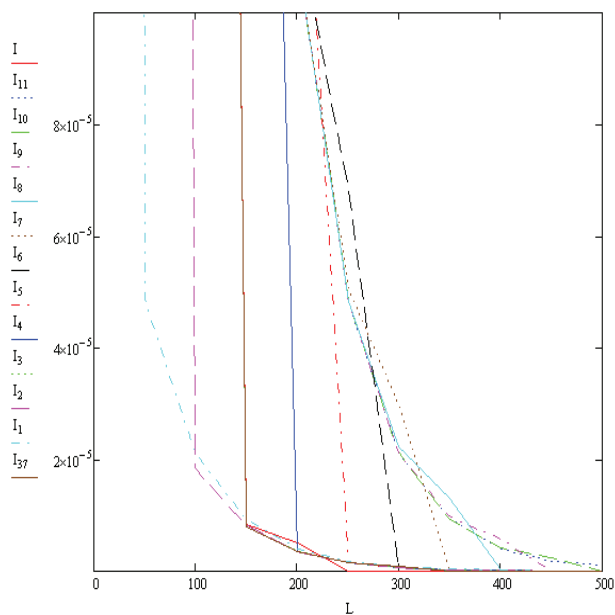


Рис. 5. Струмозподілення в електричному колі ТГЗ в залежності від знаходження пошкодженої опори при частоті джерела живлення 50 кГц

Таким чином, можна визначити, яка саме є низькоомна опора або декілька опор у групі об'єднаних загальним тросом заземлення.

4. Висновок

Виконані розрахунки електричної схеми заміщення опор контактної мережі з'єднаних з тросом групового

заземлення. Знайдені струми в контурах цієї схеми дають змогу визначити пошкоджену опору за графіками.

В роботі пропонується визначення низькоомних опор контактної мережі об'єднаних груповим заземленням без їх від'єднання.

Аналіз розрахунків наведених вище показує що струми у кожному контурі змінюються по гіперболічному закону; якщо в груповому заземленні присутня пошкоджена опора, то по ній протікає струм, а в наступній опорі струм буде практично дорівнювати 0.

Запропонований метод аналізу електричних параметрів кола при різкій зміні перехідного опору «трос-земля» у місці приєднання опори до троса групового заземлення, зменшує час на знаходження низькоомної опори за рахунок, непотрібно опору від'єднувати від тросу групового заземлення для визначення її опору, а потім з'єднати її з тросом групового заземлення.

Література

1. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2011 році [Текст] / Мінтрансв'язку України. – К., 2012. – 324 с.
2. Горский, А. В. Ремонт только по результатам диагностики [Текст] / А. В. Горский, А. А. Воробьев, Б. М. Куанышев // Локомотив. – 1998. – №12. – С. 37-39.
3. Подольский, В. И. Железобетонные опоры контактной сети: конструкция, эксплуатация, диагностика : научно-техн. узд. [Текст] / В. И. Подольский. – М.: Интекс, 2007. – 152 с.
4. Кондратьев, П. А. Компьютерный анализ состояния железобетонных опор [Текст] / П. А. Кондратьев, Ю. В. Богданов, С. Г. Галочкин // Локомотив. – 2002. – № 6 – С. 43 – 44.
5. Ефимов, А. В. Надежность и диагностирование систем электроснабжения железных дорог / А. В. Ефимов, А. Г. Галкин. – М.: УМК МПС, 2000. – С. 328 - 330.
6. Blodgett, David W. Detection of re-bar delamination using modal analysis. [Текст] / Blodgett David W. // Conference on Smart Structures and Materials 2003 „Smart Systems and Nondestructive Evaluation for Civil Infrastructures”. San Diego, Calif., – Proc. SPIE. 2003. – С. 91 – 96.
7. Неразрушающий контроль и техническая диагностика: справочник [Текст] / под ред. В. В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1995. – 488 с.
8. Вказівки з технічного обслуговування та ремонту опорних конструкцій контактної мережі. ЦЕ-0019: Затв.: Наказ Укрзалізниці 15.08.07. № 405-Ц [Текст] / Міністерство транспорту та зв'язку України. – К., 2007. – 132 с.
9. Котельников, А.В. Блуждающие токи электрифицированного транспорта [Текст] / А. В. Котельников. – М.: Транспорт, 1986. – 278 с.
10. Вайнштейн, А. Л. Совершенствование методов оценки коррозионного состояния железобетонных опор [Текст] / А. Л. Вайнштейн. – М.: [б. и.], 1990. – 24 с.