

ГЕНЕРАТОРНІ СТРУМИ ПІД ЧАС КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ В ПРИСТРОЯХ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ

В статті представлено математичну модель системи електричної тяги постійного струму залізниць України в режимі короткого замикання в тяговій мережі, і як наслідок процес виникнення генераторних струмів в електроподвижному складі. Для боротьби з генераторними струмами та їх негативними наслідками, автором запропоновано використання на рухомому складі автоматів гашення поля.

В статье представлена математическая модель системы электрической тяги постоянного тока железных дорог Украины в режиме короткого замыкания в тяговой сети, и как следствие процесс возникновения генераторных токов в электроподвижном составе. Для борьбы с генераторными токами и их негативными последствиями, автором предложено использовать на подвижном составе автомат гашения поля.

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДПОСИЛКИ І ПРИЧИНИ ВИНИКНЕННЯ ГЕНЕРАТОРНИХ СТРУМІВ

У порівнянні з тяговими струмами генераторні струми, що виникають в елементах системи електричної тяги, є більш рідкісним явищем. Насамперед, вони створюються спеціальним режимом рекуперативного гальмування і можуть виникати в аварійних режимах. Генераторні струми рекуперації в даній статті автор не аналізує, далі мова буде йти про аварійні генераторні режими.

Вплив аварійних генераторних струмів на тягову мережу (ТМ) найбільш повно приведена в роботах [1, 2]. Однак в цих дослідженнях не отримано і тому не проаналізовано (при поясненні) механізму виникнення струмів. По-друге, дослідження виконано для російських залізниць і для перших електровозів (ВЛ19). Крім цього, в [1] дещо неточні висновки відносно термінів часу, а також імовірності переходу тягових електродвигунів (ТЕД) в генераторний режим, що обумовлено, певно, умовами виконання в цій роботі дослідів при загальмованих ТЕД і односторонньому живленні контактної мережі (КМ). Нарешті, в обох роботах не запропоновано способи переривання виникнення генераторних струмів.

Для аналізу механізму виникнення генераторних струмів розглянемо, наприклад, електричну схему заміщення групи ТЕД електровоза постійного струму ДЕ1 (рис. 1).

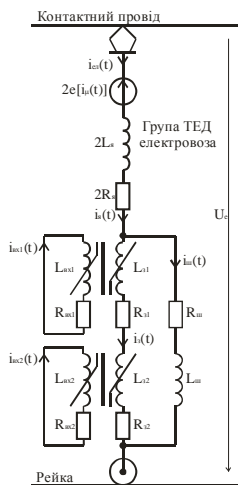


Рис. 1. Схема заміщення групи тягових двигунів

Для неї у випадку коли ТЕД працюють у режимі двигунів (при повному збудженні) справедливим є рівняння:

$$2(R_{я} + R_3)i_e(t) + 2L_{я} \frac{di_e}{dt} + 2 \cdot 2p\sigma_3 w_3 \frac{d\Phi}{dt} + 2e(t) = U_e, \quad (1)$$

де $R_{я}$, R_3 – активні опори обмоток якоря і збудження (ОЗ); $L_{я}$ – індуктивність ОЗ; $e(t)$ – проти-е.р.с. обмотки якоря; $2 \cdot 2p\sigma_3 w_3 \frac{d\Phi}{dt}$ – е.р.с. самоіндукції ОЗ;

Під час певних перехідних режимів напруга на струмоприймачі електровоза U_e та його струм i_e змінюються в часі, що призводить до порушення рівноваги роботи й тим самим переходу ТЕД у режим генерації:

$$e_r(t) = 0,5 \cdot U_e(t) + (R_{я} + R_3) \cdot i_r(t) + L_{я} \frac{di_e}{dt} + 2 \cdot 2p\sigma_3 w_3 \frac{d\Phi}{dt} + 2 \cdot e(t). \quad (2)$$

Із (2) випливає, що струм в електровозі, а отже і в ТМ змінить знак на від'ємний, тобто стане генераторним, у випадку, коли генератора е.р.с. $e_r(t)$ перевищить напругу на струмоприймачі U_e електровоза, тобто при умові:

$$U_e < e_r(t). \quad (3)$$

Отже, якщо в нормальному тяговому режимі $U_e > e_r(t)$, то щоб виконалась умова (3), й тим самим здійснився генераторний режим потрібно різке зменшення за якихось причин напруги U_e або збільшення $e_r(t)$. Проаналізуємо ці можливі причини.

Напруга на струмоприймачі U_e може зменшитись за таких причин. Перша (без втрати контакту струмоприймача з контактним проводом) – в результаті звичайних експлуатаційних технологічних коливань [3, 4], такі коливання спостерігаються в межах 2230...3990 В для електровозів ВЛ8 і ДЕ1. Загалом ці коливання відбуваються з невеликою частотою, десь до 1 Гц. Однак під час цих коливань можливі і стрибкоподібні (поштовхом) зміни напруги U_e . Наприклад, на ділянках Придніпровської залізниці для електровозів ДЕ1 з імовірністю 0,8 спостерігаються поштовхи-спади напруги ΔU_e від 209 до 861 В [5]. Певно, при таких непередбачено різких спадах напруги не виключеним є генераторний режим електровоза в ТМ.

Напруга на струмоприймачі U_e може зменшитись, причому різко, у режимі КЗ в ТМ, що впливає із такого простого рівняння:

$$U_e = E_{ТП} - i_k \cdot R_{ТМ} = E_{ТП} - i_k \cdot R_{0ТП} \cdot l, \quad (4)$$

де $E_{ТП}$ – е.р.с. тягової підстанції (ТП); i_k – струм коро-

ткого замикання (КЗ) в ТМ; R_{0TM} – питомий опір ТМ (Ом/км); l – відстань, на якій знаходиться ЕРС (електровоз) від місця КЗ.

Із (4) випливає, що зі збільшенням l збільшується спад напруги в проводах ТМ, зокрема на ділянках "ек" (рис. 2), й тим самим зменшується U_e . Тобто, U_e в режимі КЗ залежить від місця розташування ЕРС і схеми живлення ТМ. І зрозуміло, що "потрібне" для генераторного режиму U_e буде не при кожному КЗ, а лише у випадку достатньої величини спаду напруги в ТМ, тобто, достатньому значенні $i_K \cdot R_{0TM} \cdot l$.

Вище розглянуто причини появи одного фактору умови (3), а саме, зменшення U_e . Другим фактором цієї умови є значення і характер зміни (збільшення) $e_r(t)$, яка, як відомо, визначається за виразом:

$$e_r(t) = C_e \cdot n \cdot \Phi(t), \quad (5)$$

де C_e – постійна двигуна; n – кількість обертів якоря (частота обертання); $\Phi(t)$ – основний магнітний потік.

Величина "n" за термін часу переходного процесу (0,2...0,3 с) не змінюється і тому характер зміни $e_r(t)$ визначається основним потоком $\Phi(t)$, на який, як відомо, суттєвий демпфіруючий вплив чинять вихрові

струми, що виникають в суцільних магнітопроводах остовів і головних полюсів ТЕД електровозів. Крім цього, у режимі послаблення збудження на характер зміни $\Phi(t)$ впливає і струм у вітті шунтування ТЕД.

Як зазначалось, найбільш розповсюдженим і небезпечним аварійним режимом у системі електротяги є режим КЗ в ТМ, тому далі методом математичного моделювання дослідимо закономірності виникнення і проаналізуємо результати чисельних розрахунків генераторних струмів у режимах КЗ. Як зазначалось в [6], процеси, що виникають при переході ТЕД в генераторний режим в момент КЗ в ТМ, достатньо складні і практично мало досліджені. І тому в публікаціях наведено лише орієнтовно характер зміни напруги на струмоприймачі, фідерні струми, але інші величини не вивчались.

Насамперед треба відзначити, що режим КЗ в ТМ при наявності ЕРС на фідерній зоні є найбільш тяжким і складним режимом як для ТМ так і для ЕРС.

Значний термін часу ведення поїзда здійснюється при "С"-з'єднанні ТЕД. Тому розрахуємо і проаналізуємо виникнення генераторних струмів якраз на цьому з'єднанні ТЕД електровоза ДЕ1.

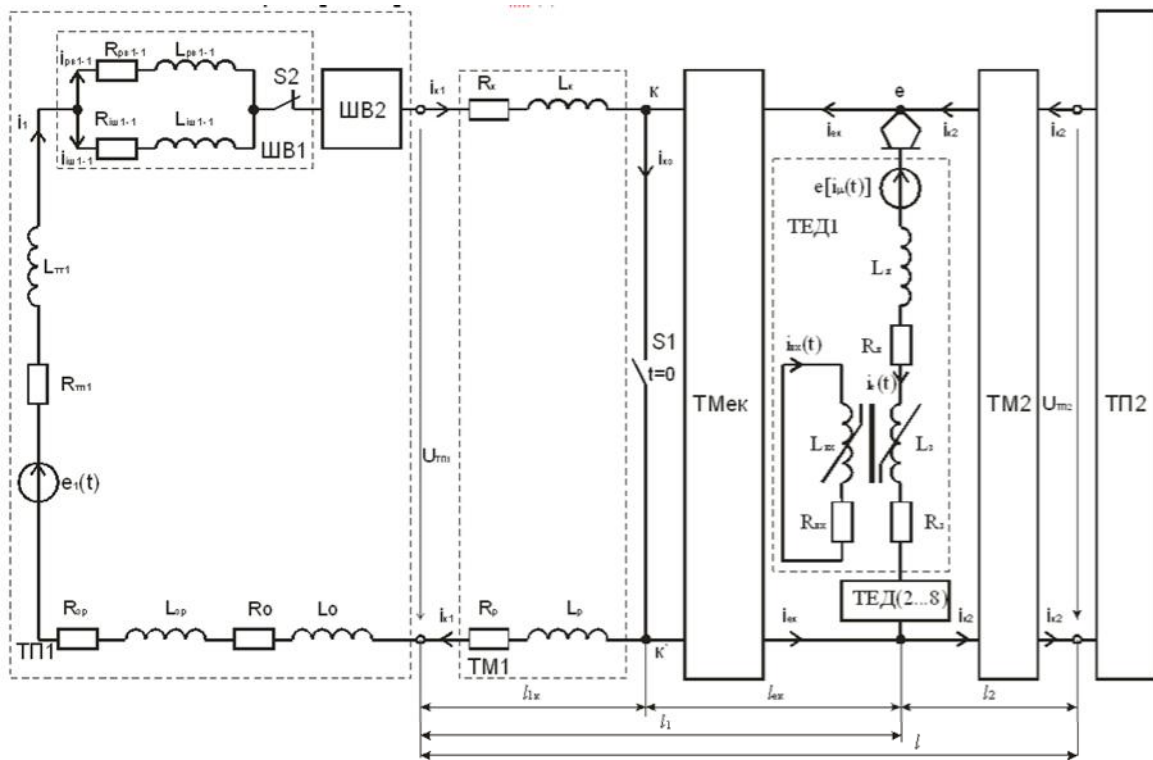


Рис. 2. Схема заміщення системи електричної тяги в режимі короткого замикання

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ КОРТКОГО ЗАМИКАННЯ

Загальна математична модель режиму КЗ в ТМ згідно рис. 2 являє собою таку систему рівнянь:

$$\begin{aligned} & (R_{ТТ1} + R_{ЗП1} + R_{К1} + R_{П1} + R_{О1}) \cdot i_1 + \\ & + (L_{ТТ1} + L_{ЗП1} + L_{К1} + L_{П1} + L_{О1}) \cdot \frac{di_1}{dt} + \\ & R_{ІШ1_1} \cdot i_{ІШ1_1} + L_{ІШ1_1} \frac{di_{ІШ1_1}}{dt} + R_{ІШ1_2} \cdot i_{ІШ1_2} + \\ & + L_{ІШ1_2} \frac{di_{ІШ1_2}}{dt} = e_1(t); \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & (R_{ТТ2} + R_{ЗП2} + R_{К2} + R_{П2} + R_{О2}) \cdot i_2 + \\ & + (L_{ТТ2} + L_{ЗП2} + L_{К2} + L_{П2} + L_{О2}) \cdot \frac{di_2}{dt} + \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & R_{ІШ2_1} \cdot i_{ІШ2_1} + L_{ІШ2_1} \frac{di_{ІШ2_1}}{dt} + R_{ІШ2_2} \cdot i_{ІШ2_2} + \\ & + L_{ІШ2_2} \frac{di_{ІШ2_2}}{dt} + (R_{КЕК} + R_{ПЕК}) \cdot i_{ЕК} + L_{КЕК} \frac{di_{ЕК}}{dt} = e_2(t) \\ & (R_{КЕК} + R_{ПЕК}) \cdot i_{ЕК} + L_{КЕК} \frac{di_{ЕК}}{dt} + (R_{Я} + R_{З}) \cdot i_e + 8L_{Я} \cdot \frac{di_e}{dt} + \\ & + 2 \cdot 2 p \sigma_3 w_3 \frac{d}{dt} \left(\sum_{k=1}^8 \Phi_k \right) = C_e \cdot \omega \cdot \sum_{k=1}^8 \Phi_k \end{aligned} \quad (8)$$

$$i_{я} - i_1 - i_2 = 0 \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} R_{рв1_1} \cdot i_{рв1_1} + L_{рв1_1} \frac{di_{рв1_1}}{dt} - R_{іш1_1} \cdot i_{іш1_1} - \\ - L_{іш1_1} \frac{di_{іш1_1}}{dt} = 0 \\ R_{рв1_2} \cdot i_{рв1_2} + L_{рв1_2} \frac{di_{рв1_2}}{dt} - R_{іш1_2} \cdot i_{іш1_2} - \\ - L_{іш1_2} \frac{di_{іш1_2}}{dt} = 0 \\ R_{рв2_1} \cdot i_{рв2_1} + L_{рв2_1} \frac{di_{рв2_1}}{dt} - R_{іш2_1} \cdot i_{іш2_1} - \\ - L_{іш2_1} \frac{di_{іш2_1}}{dt} = 0 \\ R_{рв2_2} \cdot i_{рв2_2} + L_{рв2_2} \frac{di_{рв2_2}}{dt} - R_{іш2_2} \cdot i_{іш2_2} - \\ - L_{іш2_2} \frac{di_{іш2_2}}{dt} = 0 \end{aligned} \right\} (10)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{я} - i_{\mu 1} - i_{вх1} = 0 \\ \dots \\ i_{я} - i_{\mu 8} - i_{вх8} = 0 \end{aligned} \right\} (11)$$

$$\left. \begin{aligned} i_1 - i_{рв1_1} - i_{іш1_1} = 0 \\ i_1 - i_{рв1_2} - i_{іш1_2} = 0 \\ i_2 - i_{рв2_1} - i_{іш2_1} = 0 \\ i_2 - i_{рв2_2} - i_{іш2_2} = 0 \end{aligned} \right\} (12)$$

$$\left. \begin{aligned} R_{вх_зр} \cdot i_{вх1} + \sigma_3 w_3 \frac{d\Phi_1}{dt} = 0 \\ \dots \\ R_{вх_зр} \cdot i_{вх8} + \sigma_3 w_3 \frac{d\Phi_8}{dt} = 0 \end{aligned} \right\} (13)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{\mu 1} = f(\Phi_1(t)) \\ \dots \\ i_{\mu 8} = f(\Phi_8(t)) \end{aligned} \right\} (14)$$

Чисельні розрахунки виконано для таких режимів і припущень: живлення фідерних зон двостороннє; працюючий на ділянці електровоз серії ДЕ1; схеми з'єднання ТЕД "С"; збудження ТЕД повне; відстані між ТП1 і ТП2 рівні $l=20$ км; відстань від точки КЗ до ТП1 $l_{к}=0,5$ км; відстань від ЕРС до точки КЗ змінюється $l_{ек}=0,5; 9,5; 18,5$ км.

Значення необхідних для розрахунку параметрів приведені в роботах автора [7...11].

РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНИХ РОЗРАХУНКІВ

У розглядуваному режимі КЗ складова струму ($i_{кз}=0$) і тому живлення ЕРС частково переходить на фідер підстанції ТП2. Одночасно, струм КЗ, тобто в "закороткі" $i_{кз}$ і фідерний струм i_1 від ТП1 різко зростають (рис. 3 і 4, при різній довжині $l_{ек}$: 1 – 0,5 км; 2 – 9,5 км; 3 – 18,5 км). Струм $i_1(t)$ досягає своєї ставки ($I_{1у}=3000$ А) і ШВ на ТП1 через 0,022 с після початку КЗ починає вимикатись і через 0,033 с повністю вимикається (рис. 3).

При цьому, як виливає із рис. 3, зазначене вимикання ШВ ТП1 відбувається при розташуванні ЕРС у

будь-якій точці фідерної зони, тобто, при будь-якій відстані між ЕРС і точкою КЗ.

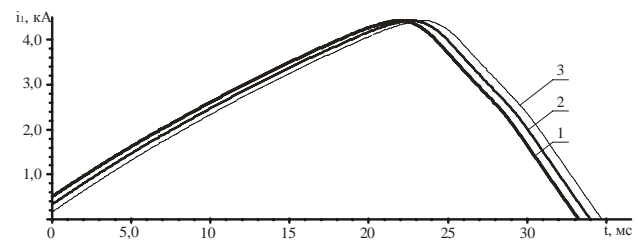


Рис. 3. Часові залежності струму тягової підстанції ТП1, при різній довжині від точки КЗ до ЕРС $l_{ек}$ [км]: 1 – 0,5; 2 – 9,5; 3 – 18,5

Характер зміни струму КЗ, тобто $i_{кз}$, в залежності від відстані $l_{ек}$ однаковий: спочатку, в період вимикання ШВ ТП1, він різко зростає до 6200...6600 А, потім також різко зменшується до 2000...2500 А і встановлюється в новому усталеному значенні 2500...3000 А. Тривалість такого перехідного процесу складає 0,3...0,35 с (рис. 4).

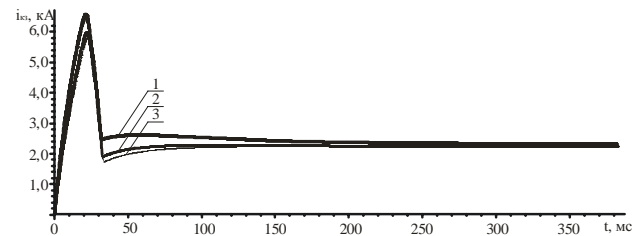


Рис. 4. Часові залежності струму короткого замикання, для умови рис. 3

Одночасно, фідерний струм i_2 спочатку лінійно зі швидкістю $(3...3,5) \cdot 10^4$ А/с, а потім експоненціально зростає до 2330 А при $l_{ек}=0,5$ км, а при русі поїзда до 2400 А – 9,5 км і 2600 А – 18,5 км (рис. 5). Приріст максимального значення цього струму склав відповідно 2270, 2176 і 2255 А, що може бути використано при розрахунках струму уставки фідера і для правильного вибору параметрів датчика релейного захисту. І як впливає із рис. 5, при розглянутих відстанях $l_{ек}$ фідерний струм i_2 не досягає уставки 3000 А і тому ШВ ТП2 не вимикається і ТП2 продовжує живити ЕРС і КЗ.

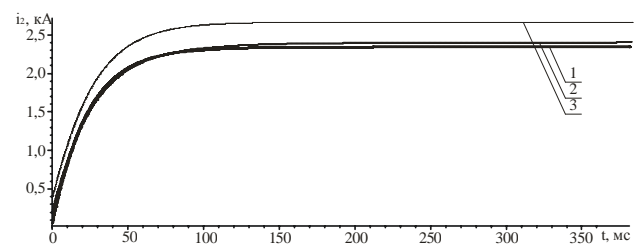


Рис. 5. Часові залежності струму тягової підстанції ТП2, для умови рис. 3

Також одночасно з вимиканням ШВ ТП1 і зростанням i_2 збільшується струм $i_{ек}$ між ЕРС і точкою КЗ (рис. 6), а, отже, і спад напруги $U_{ек}$ на цій же ділянці. Однак напруга на струмоприймачі U_e зменшується: спочатку кидком (в момент КЗ), а потім повільно (рис. 7), досягаючи свого усталеного значення, обумовленого напругою на працюючій ТП2 і рівного спаду $U_{ек}$: ~100 В при $l_{ек}=0,5$ км; 1200 В – 9,5 км і 2400 В –

18,5 км. Різке зменшення напруги на струмоприймачі призводить також до різкого початкового (в термін вимикання ШВ ТП1) зменшення тягового струму електровоза i_e (рис. 8). Зменшується також основний магнітний потік $\Phi(t)$ ТЕД ЕРС (рис. 9), а також їх проти е.р.с. (рис. 10), яка залежить, як відомо, від $\Phi(t)$. Однак $\Phi(t)$ знижується значно повільніше, ніж струм електровоза i_e , що пов'язано з демпфуючою дією магнітного потоку, створеного вихровими струмами в магнітопроводі ТЕД (рис. 11) достатньо великих максимальних значень (230...1080 А) в період вимикання ШВ ТП1. Зрозуміло і очевидно із рис. 10, що і проти е.р.с. $e(t)$ ТЕД електровоза знижується повільніше, ніж напруга на струмоприймачі U_e (рис. 7), що дорівнює спаду $U_{ек}$. Тому з часом, після вимикання ШВ ТП1 (і при $i_e=0$) U_e вирівнюється з $e(t)$, а потім стає меншою, ніж $e(t)$. В результаті ТЕД переходять в генераторний режим (рис. 8), максимальне значення струму якого i_r при $l_{ек}=0,5$ км досягає 760 А. Отже, імовірність генераторного режиму визначається величиною спаду напруги в ТМ $U_{ек}$ на ділянці ек. Тобто, при великій відстані $l_{ек}$ генераторний струм може не виникнути, як це спостерігається на рис. 8 (крива 3), що побудована для $l_{ек}=18,5$ км, а найбільш імовірно виникнення генератором режиму у ЕРС, що знаходиться ближче до КЗ.

Генераторний струм у подальшому, з часом передірного процесу, після характерного сплеску (кидка) починає повільне експоненціальне загасання до певного усталеного режиму, що обумовлено таким же характером зменшенням $\Phi(t)$, а, отже і проти е.р.с. (рис. 10).

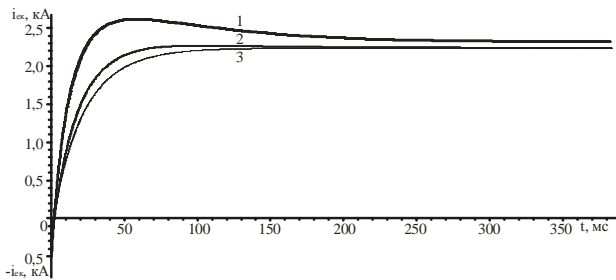


Рис. 6. Часові залежності струму на ділянці від ЕРС до точки КЗ, для умови рис. 3

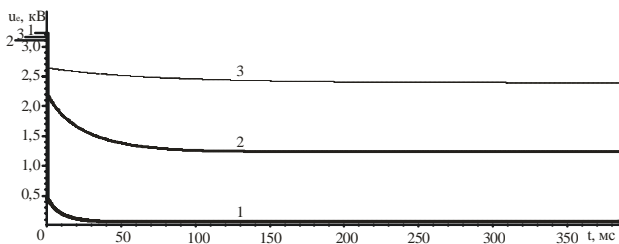


Рис. 7. Часові залежності напруги на струмоприймачі ЕРС, для умови рис. 3

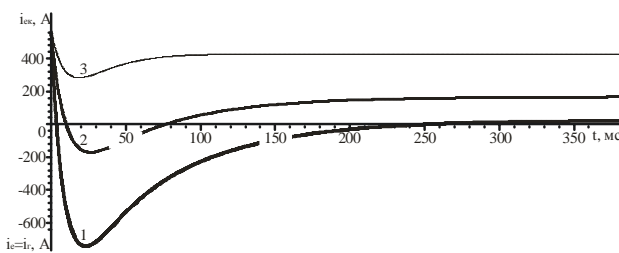


Рис. 8. Часові залежності струму ЕРС, для умови рис. 3

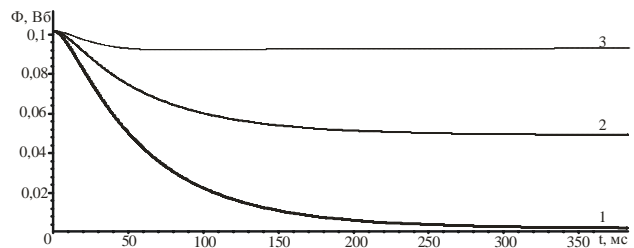


Рис. 9. Часові залежності основного магнітного потоку ТЕД ЕРС, для умови рис. 3

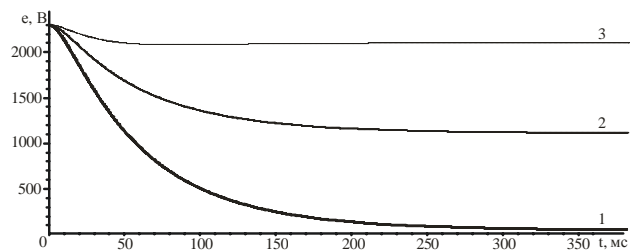


Рис. 10. Часові залежності проти е.р.с ТЕД ЕРС, для умови рис. 3

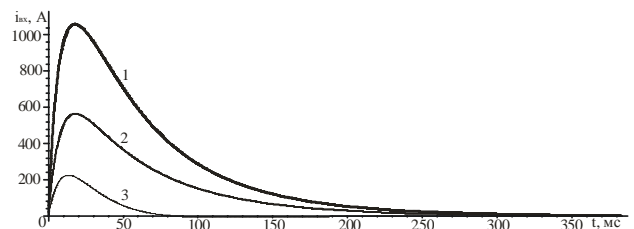


Рис. 11. Часові залежності вихрових струмів ТЕД ЕРС, для умови рис. 3

Тривалість сплеску генераторного струму співрозмірна з терміном часу вимикання струму i_{e1} ШВ ТП1 і складає 0,035 с (рис. 8). В той же час ЕРС переходить в генераторний режим через 5...20 мс після початку КЗ, а весь перехідний процес зміни струму $i_e(t)$ триває 0,075...0,25 с. В той же час, як відомо, термін часу спрацювання релейного захисту системи тягового електропостачання не повинен перевищувати 0,08 с [12].

ГАШЕННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

Електрорухомий склад в генераторному режимі являє собою джерело електроенергії (джерело струму), що підживлює місце КЗ. При цьому енергія у місці КЗ, яка створюється одним-двома генеруючими електровозами, досягає 300...600 Ас, а амплітуда струмів генерації – до 1500 А [1]. В той же час для перепалу провoda МФ-100 при струмах вище 400 А потрібно всього 250 Ас. Тобто, струми генерації являються серйозною причиною термічних пошкоджень КМ. Крім цього, вони викликають пошкодження також іскрових проміжків у колі заземлення опор КМ. Часті також випадки пошкодження апаратури на самому генеруючому ЕРС.

Зазначене вимагає розробки методів і засобів, які переривають або не допускають виникнення режиму генерації. Ці засоби і методи повинні базуватись, виходячи із основної причини, що обумовлює виникнення генераторного режиму, а саме на характер змінв часі основного магнітного потоку $\Phi(t)$, точніше на швидкості $d\Phi/dt$, яке значно менше швидкості зменшення напруги на струмоприймачі dU/dt . Тобто, потрібно пришвидшити процес загасання основного магнітного потоку. Для виконання

цієї функції можна застосовувати так звані автомати гашення поля (АГП), які набули широкого розповсюдження для захисту турбогенераторів на електростанціях. В роботі [13] виділено оптимальні умови гашення поля, які можна узагальнити наступними пунктами: термін час гашення поля мінімальний; напруга на обмотці збудження не повинна перевищувати гранично допустимого значення за умовою електричної міцності ізоляції.

У якості нелінійного резистивного елементу, призначеного для розсіювання накопиченої енергії у вищезазначених автоматах використовується коротка електрична дуга (2-3 мм). Проведені автором роботи [13] показали, що падіння напруги на короткій електричній дузі між металевими електродами зберігає практично сталу величину, не дивлячись на зміну струму в широких межах до величини 24 кА. Автором було зазначено, що схема гашення поля машин постійного струму є значно простішою, ніж поля синхронних машин, оскільки немає необхідності після гашення поля замикає обмотку збудження на шунтуючий опір.

Тривалість існування дуги в камері автомата при гашенні поля машин постійного струму незначна, а весь процес гашення поля вимірюється декількома десятими частками секунди.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Векслер, М.И. Защита тяговой сети постоянного тока от токов короткого замыкания [Текст] / М.И. Векслер. – М.: Транспорт, 1976. – 120 с.
2. Пупынин, В.Н. Защита и отключение тяговых сетей в аварийных режимах: диссертация доктора технических наук [Текст] / В.Н. Пупынин. – М.: МИИТ, 1986. – 340 с.
3. Міщенко, Т.М. Вероятностные характеристики случайной функции напряжения на токоприемнике первого украинского электровоза ДЭ1 [Текст] / Т.М. Міщенко, П.Е. Михаліченко, М.О. Костін// Електротехніка і електромеханіка. – 2003. – № 2. – С. 43-45.
4. Саблін О.И. Повышение эффективности электропотребления электроподвижного состава постоянного тока [Текст]/ О.И. Саблін: Дис. канд. техн. наук – Д.:2009. – 190 с.
5. Мищенко Т.Н. Математическое моделирование влияния толчков случайной функции напряжения на токоприемнике на переходные электромагнитные процессы в электровозе ДЭ1 [Текст] / Т.М. Міщенко // Вісник ДНУЗТ. – 2005. – Вип. 9. – С. 61-68.
6. Сердинов С.М. Повышение надежности устройств электрооборудования электрифицированных железных дорог [Текст] / С.М. Сердинов.– М.: Транспорт, 1985. – 301 с.
7. Михаліченко П.Е. Вплив режиму короткого замикання в тяговій мережі постійного струму на перехідні електромагнітні процеси в електрорухомому складі [Текст]/ П.Е. Михаліченко, Т.М. Міщенко, М.О. Костін// Електротехніка і електромеханіка. – 2010. – № 4. – С. 63-66.
8. Михаліченко П.Є. Вплив пасивних фільтрів на електромагнітний стан в режимі короткого замикання в системі тягового електропостачання постійного струму [Текст] / П.Є. Михаліченко // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Силова електроніка та енергоефективність. – 2010. – Ч.2 – С. 195-200.
9. 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 ДІІТа. – Випуск 17. – 2007. – С. 66-71.
10. Михаліченко П.Є. Математичне моделювання перехідних аварійних електромагнітних процесів в системі електричної тяги постійного струму. 2. Коротке замикання з електрорухомим складом [Текст] / П.Є. Михаліченко // Вісник ДІІТа. – Випуск 32. – 2010. – С. 175-179.
11. 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 випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 2. – 2008. – С. 31-35.
12. ГОСТ 2585-81. Выключатели автоматические быстродействующие постоянного тока. Общие технические условия [Текст]. – М.: Госстандарт, 1981. – 29 с.
13. Брон О.Б. Автоматы гашения магнитного поля [Текст] / О.Б. Брон.– М, Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 137 с.

Bibliography (transliterated): 1. Veksler, M.I. Zashchita tyagovoy seti postoyannogo toka ot tokov korotkogo zamykaniya [Текст] / M.I. Veksler. – М.: Транспорт, 1976. – 120 s. 2. Pupyinin, V.N. Zashchita i otklyuchenie tyagovykh setey v avarijnykh rezhimakh: dissertatsiya doktora tehnikeskikh nauk [Текст] / V.N. Pupyinin. – М.: МИИТ, 1986. – 340 s. 3. Mischenko, T.M. Veroyatnostnye harakteristiki sluchajnoj funktsii napryazheniya na tokopriemnike pervogo ukrainskogo `elektrovoza D`E1 [Текст] / Т.М. Mischenko, P.E. Mihalichenko, M.O. Kostin// Elektrotehnika i elektromekhanika. – 2003. – № 2. – С. 43-45. 4. Sablin O.I. Povyshenie `effektivnosti `elektropotrebleniya `elektropodvizhnogo sostava postoyannogo toka [Текст]/ O.I. Sablin: Dis. kand. tehn. nauk – D.:2009. – 190 s. 5. Mischenko T.N. Matematicheskoe modelirovanie vliyaniya tolchkov sluchajnoj funktsii napryazheniya na tokopriemnike na perehodnye `elektromagnitnye processy v `elektrovoze D`E1 [Текст] / Т.М. Mischenko // Visnik DNUZT. – 2005. – Vip. 9. – С. 61-68. 6. Serdinov S.M. Povyshenie nadezhnosti ustrojstv `elektrosnabzheniya `elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog [Текст] / S.M. Serdinov.- М.: Транспорт, 1985. – 301 s. 7. Mihalichenko P.E. Vpliv rezhimu korotkogo zamikannya v tyagovij merezhi postijnogo strumu na perehidni elektromagnitni procesi v ektorruhomomu skladi [Текст]/ P.E. Mihalichenko, T.M. Mischenko, M.O. Kostin// Elektrotehnika i elektromekhanika. – 2010. – № 4. – С. 63-66. 8. Mihalichenko P.E. Vpliv pasivnykh fil`triv na elektromagnitnij stan v rezhimi korotkogo zamikannya v sistemi tyagovogo elektropostachannya postijnogo strumu [Текст] / P.E. Mihalichenko // Tehnichna elektrodinamika. Tematicnij vipusk. Silova elektronika ta energoeffektivnist'. – 2010. – Ch.2 – С. 195-200. 9. Kostin N.A. Matematicheskoe modelirovanie perehodnykh avarijnykh `elektromagnitnykh processov v sisteme `elektricheskoy tyagi postoyannogo toka. 1. Korotkoe zamykanie bez tyagovoy nagruzki [Текст] / N.A. Kostin, P.E. Mihalichenko // Visnik DIIТа. – Vipusk 17. – 2007. – С. 66-71. 10. Mihalichenko P.E. Matematichne modelyuvannya perehidnykh avarijnykh elektromagnitnykh procesiv v sistemi elektrichnoї tyagi postijnogo strumu. 2. Korotke zamikannya z ektorruhomim skladom [Текст] / P.E. Mihalichenko // Visnik Dieta. – Vipusk 32. – 2010. – С. 175-179. 11. Mihalichenko P.E. Matematichne modelyuvannya perehidnykh avarijnykh elektromagnitnykh procesiv v sistemi elektrichnoї tyagi postijnogo strumu [Текст] / P.E. Mihalichenko, M.O. Kostin// Tehnichna elektrodinamika. Tematicnij vipusk. Problemi suchasnoї elektrotehniki. Chastina 2. – 2008. – С. 31-35. 12. GOST 2585-81. Vyklyuchateli avtomaticheskie bystrodejstvuyushchie postoyannogo toka. Obschie tehnicheckie usloviya [Текст]. – М.: Gosstandart, 1981. – 29 s. 13. Bron O.B. Avtomaty gasheniya magnitnogo polya [Текст] / O.B. Bron.- М, L.: Gos`energoizdat, 1961. – 137 s.

Надійшла 17.10.2012

Михаліченко Павло Євгенович, к.т.н., доц.
Дніпропетровський національний університет
кафедра "ТОЕ"
49010, Дніпропетровськ, вул. Академіка В.А. Лазаряна, 2
тел.: (056) 3731537, e-mail: miha_pavel@mail.ru

Mihalichenko P.E.

Generator currents under short circuits in electric propulsion system equipment.

In the article, a mathematical model of a DC electric propulsion system of the Ukrainian railways is introduced for a short-circuit condition in the traction network and, as its result, generator current initiation in electric rolling stock. For control of generator currents and their negative effect, the author suggests automatic field damper application on the rolling stock.

Key words – mathematical modeling, contact system, electromagnetic processes, DC electric train, short circuit.