

## СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ КИДКІВ СТРУМУ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ В АВАРІЙНОМУ РЕЖИМІ "ЗНЯТТЯ ВІДНОВЛЕННЯ" НАПРУГИ НА СТРУМОПРИЙМАЧІ

*Експериментальними та теоретичними методами виконано оцінку впливу режиму "відриву-торкання" струмоприймача на електромагнітні процеси в електрорухомому складі постійного струму. Запропоновано застосовувати накопичувачі електричної енергії для зменшення кидків струму в момент відновлення живлення.*

*Експериментальними та теоретичними методами виконана оцінка впливу режиму "отрыв-касание" токоприемника на электромагнитные процессы в электроподвижном составе постоянного тока. Предложено использовать накопители электрической энергии для уменьшения бросков тока в момент восстановления питания.*

### ВСТУП

Режим короткочасного зняття напруги на струмоприймачі електрорухомого складу (ЕРС) з наступним її відновленням, на рівні з режимом короткого замикання в елементах системи електричної тяги, є найчастішим і найбільш небезпечним аварійним режимом. Як випливає з результатів багатьох досліджень [1, 2], у цьому режимі виникають 3,5...4-кратні і навіть більші струмові перенавантаження тягових електродвигунів (ТЕД) ЕРС, що призводять до колових вогнів на їх колекторах, а, отже, і до виходу із ладу самих двигунів. Одночасно, як показують наші експериментальні та теоретичні (шляхом математичного моделювання) дослідження, у цьому режимі "зняття-відновлення" напруги, який спостерігається, наприклад, при відриві струмоприймача від контактної проводу з наступним його доторканням, мають місце також кидки і фідерних струмів у системі тягового електропостачання (рис.1 і 2).

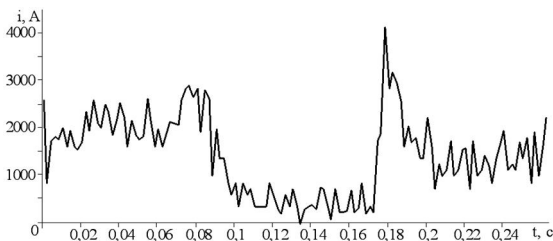


Рис. 1. Експериментальна осцилограма фідерного струму на ділянці Горяїнове-Сухачівка у режимі "відриву-доторкання" струмоприймача електровозу ЧС-7

Як відомо, основною причиною появи зазначених кидків струму в колах ЕРС, а, отже, і фідерних струмів є характер зміни в часі магнітного потоку  $\Phi(t)$  магнітопроводу ТЕД. При тривалості часу зняття напруги  $t_{\text{зн}} > 0,5$  с величина  $\Phi(t)$  суттєво загасає. Відповідно і величина проти-е.р.с. якорів  $e(t) = C_e \cdot \omega \cdot \Phi(t)$  складає невелике значення, (швидкість обертання  $\omega$  якорів не змінюється за інтервал часу перехідного процесу, що розглядається). При миттєвому відновленні напруги  $U_c$  на ЕРС (після доторкання струмоприймача до контактної проводу) магнітний потік  $\Phi(t)$ , а, отже, і проти-е.р.с., ТЕД починають зростати, але не кидком, як напруга  $U_c$ , а сповільнено внаслідок демпферуючої дії вихрових струмів [2] магнітопроводу ТЕД (рис. 3).

Як результат, в початковий момент відновлення напруги на струмоприймачі  $U_c$  створюється різниця між цією напругою і проти-е.р.с., яка при малому активному опорі обмоток якоря і збудження (ОЗ) ТЕД і

обумовлює значний кидок струму якоря ТЕД (а, отже, і фідерного струму). Тобто, для недопущення виникнення кидків струмів можливо використання одного із таких двох підходів. Перший – недопущення значного зменшення магнітного потоку  $\Phi(t)$  після втрати напруги (й тим самим зменшення струму в ОЗ  $i_a(t)$  ТЕД до нуля). Другий – різке прискорення збільшення  $\Phi(t)$  до його початкового усталеного значення після повного відновлення напруги на струмоприймачі.

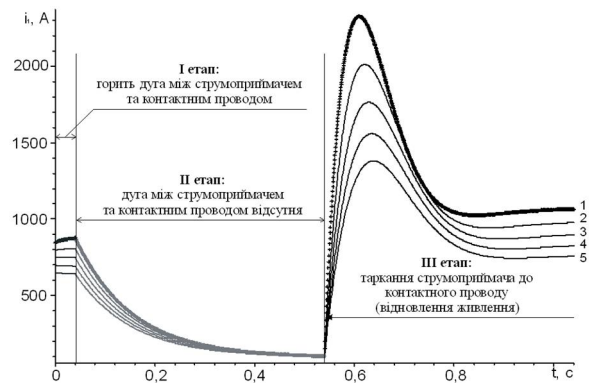


Рис. 2. Розрахункові часові залежності зміни фідерного струму тягової підстанції на протязі всього режиму "відриву-доторкання" струмоприймача при різній відстані від ТП до ЕРС (км): 1 – 2,0; 2 – 4,0; 3 – 6,0; 4 – 8,0; 5 – 10,0

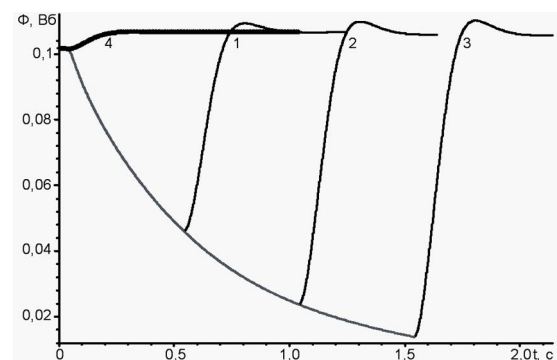


Рис. 3. Часові залежності зміни магнітного потоку в ТЕД на протязі всього режиму "відриву-доторкання" струмоприймача при різній тривалості етапу відсутності дуги (с): 1 – 0,5; 2 – 1,0; 3 – 1,5; 4 – 2-ий етап відсутній

### СУТНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНОГО СПОСОБУ

На думку автора, існує практична можливість вирішити поставлену задачу за першим підходом. Для цього треба паралельно обмотці збудження кожного ТЕД увімкнути ємнісний (конденсаторний) накопичувач С електроенергії (рис. 4).

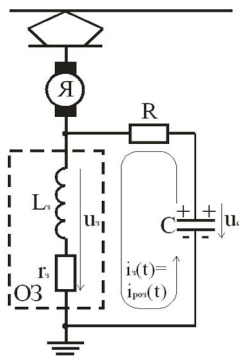


Рис. 4. Схема вмикання ємнісного накопичувача до ОЗ ТЕД

В останні 3...5 років ідея використання ємнісних накопичувачів в силових колах систем електричної тяги все частіше і у більшій степені цікавить дослідників, хоча публікацій ще замало. В [3, 4] ємнісні накопичувачі пропонуються використовувати для поліпшення тягових властивостей ЕРС шляхом збільшення сили тяги за зчепленням. Для зменшення розрахункової потужності тягових підстанцій (ТП) автор роботи [5] пропонує встановлювати на ЕРС "суперконденсаторні" батареї, накопичувати в них енергію електричного гальмування, а потім її передавати в тягову електромережу. Подібна пропозиція міститься в роботі [6], але конденсаторні накопичувачі плануються встановлювати на ТП. Застосування конденсаторних накопичувачів для пуску і розгону ЕРС, а також для стабілізації тягового навантаження запропоновано в [7]. Як впливає із цього аналізу, про використання ємнісних накопичувачів в аварійному режимі "втрата-відновлення" напруги публікації відсутні. Тому розглянемо докладно функції конденсаторного накопичувача і взагалі електромагнітні процеси в колі (рис. 4) на кожному з етапів явища "відриву-торкання" струмоприймача.

В нормальному усталеному режимі роботи ЕРС, коли струмоприймач торкається контактного провада, постійний струм (який дещо коливається, але з дуже низькою частотою) протікає по якорю і ОЗ, а конденсатор, зарядившись, має напругу  $U_C$ , яка дорівнює напрузі  $U_3$  на обмотці збудження. Оскільки активний опір останньої  $r_3$  малий, то і напруга на накопичувачі  $U_C$  теж має невелике значення. При відриві струмоприймача від контактного провада на початковому етапі, етапі горіння дуги, наприклад, тривалістю 40 мс для електровоза ДЕ1, у режимі повного збудження напруга на електровозі зменшується незначно на 50...70 В (рис. 5), сила струму в паралельних вітках силового тягового кола електровоза (тобто в якорях і ОЗ, рис. 6) знижується лише на 25...40 А, а в електровозі на 50...80 А тому і магнітний потік  $\Phi(t)$  змінюється незначно, від 1,04 до 1,0 Вб (рис. 3).

У наступному етапі відриву струмоприймача (після розриву дуги) напруга на струмоприймачі різко знижується до нуля (рис. 5); теж саме стосується і струму в якорі, в ОЗ (рис. 6) і напруги на ній. В результаті ємнісний накопичувач починаючи розряджуватися через ОЗ (рис. 4), підтримує майже незмінним магнітний потік  $\Phi(t)$  за весь термін часу відриву струмоприймача. Щоб останнє виконувалось потрібно здійснити вибір необхідного значення ємності конденсаторного накопичувача, враховуючи деякі умови, розглянемо їх.

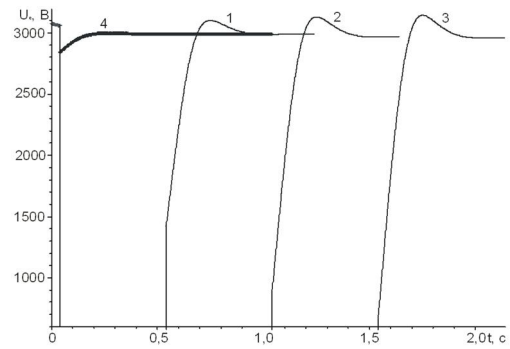


Рис. 5. Розрахункові часові залежності зміни напруги на струмоприймачі електровоза для умов рис. 3

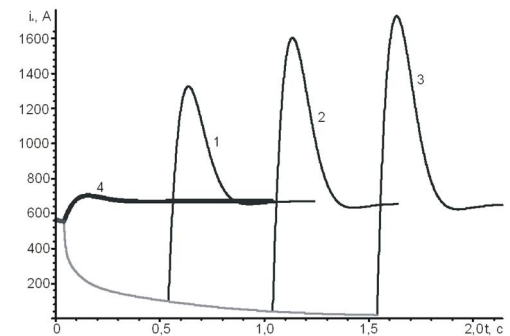


Рис. 6. Розрахункові часові залежності зміни струму якоря ТЕД електровоза для умов рис. 3

#### ВИБІР ПАРАМЕТРА НАКОПИЧУВАЧА

**Умова перша.** Як відомо [8], при розряді ємності через котушку ( $rL$  – кола), в залежності від значень параметрів  $r, L, C$  можливі три процеси розряду: аперіодичний, граничний і періодичний (коливальний). Виходячи із змісту поставленої задачі і характеру часової зміни перехідних величин у зазначених процесах [8], необхідно щоб процес розряду накопичувача через ОЗ ( $r_3, L_3$  – коло) (рис. 4) був аперіодичним. Умовою такого розряду є те, щоб активний опір ОЗ  $r_3$  перевищував критичний опір кола "накопичувач-ОЗ",

який дорівнює  $2\sqrt{\frac{L_3}{C}}$  [8], тобто

$$r_3 > 2\sqrt{\frac{L_3}{C}}. \quad (1)$$

Звідки перша умова для визначення ємності  $C$  накопичувача полягає в тому, що

$$C > 4 \frac{L_3}{r_3^2}. \quad (2)$$

**Умова друга.** Для утворення і підтримки практично незмінного магнітного потоку  $\Phi(t)$  на протязі всього терміну часу зняття  $t_{zn}$  напруги в цей інтервал часу через ОЗ повинен протікати перехідний розрядний струм  $i_3(t)=i_{pos}(t)$  (рис. 4). А для цього тривалість перехідного процесу  $T_{ПП}$  розряду ємності  $C$  через ОЗ повинна бути більшою, ніж  $t_{zn}$ , чи дорівнювати найбільшому значенню цього інтервалу часу:

$$T_{ПП} \geq t_{zn}^{max} \approx 1,5...2,0 \text{ с}. \quad (3)$$

Як відомо [8], тривалість будь-якого перехідного процесу  $T_{ПП}$  визначається як

$$T_{ПП} = (4...5)\tau, \quad (4)$$

де  $\tau$  – стала часу електричного кола, в якому протікає досліджуваний перехідний процес.

Визначимо  $\tau$  для кола рис. 4, користуючись відомою методикою [8].

Комплексний опір кола

$$\underline{Z}(j\omega) = r_3 + j\omega L_3 + \frac{1}{j\omega C}.$$

Змінимо оператор  $j\omega$  на оператор  $p$ , маємо

$$Z(p) = r_3 + pL_3 + \frac{1}{pC}.$$

Звідки характеристичне рівняння буде

$$r_3 + pL_3 + \frac{1}{pC} = 0, \quad (5)$$

$$\text{або } p^2 + p\frac{r_3}{L_3} + \frac{1}{L_3C} = 0.$$

Розв'язавши отримаємо корені:

$$p_{1,2} = -\frac{r_3}{2L_3} \pm \sqrt{\left(\frac{r_3}{2L_3}\right)^2 - \frac{1}{L_3C}}. \quad (6)$$

Якщо коло має один реактивний елемент, тоді корінь буде один ( $p$ ) і тоді стала часу дорівнює:

$$\tau = \frac{1}{|p|}. \quad (7)$$

В нашій задачі два реактивних елементи і тому два кореня:  $p_1, p_2$  що визначаються за (6). Тоді, користуючись формально формулами (3), (4), (6) і (7), можна записати

$$t_{3H}^{\max} \leq \frac{5}{\left| -\frac{r_3}{2L_3} + \sqrt{\left(\frac{r_3}{2L_3}\right)^2 - \frac{1}{L_3C}} \right|}, \quad (8)$$

а, також

$$t_{3H}^{\max} \leq \frac{5}{\left| -\frac{r_3}{2L_3} - \sqrt{\left(\frac{r_3}{2L_3}\right)^2 - \frac{1}{L_3C}} \right|}. \quad (9)$$

Формули (8), (9) є виразами другої умови вибору величини  $C$ , який потрібно здійснювати методом "перебору варіантів" (тобто значень до виконання нерівностей (8) і (9)).

**Умова третя.** В паралельному контурі рис. 4 не повинен виникати режим резонансу струмів, умовою якого є рівність реактивних провідностей паралельних віток:  $B_{L0} = B_{C0}$ , тобто

$$\frac{\omega_0 L_3}{(\omega_0 L_3)^2 + r_3^2} = \omega_0 C, \quad (10)$$

де  $\omega_0$  – кутова резонансна частота.

Далі треба діяти одним із таких двох підходів.

Перший. Вибравши значення ємності за першої і другої умовами і підставивши це значення в (10), знаходимо резонансну частоту  $\omega_0$ . Далі, виконуємо спектральний аналіз струму  $i_3(t) = i_{\text{роз}}(t)$ , що протікає через ОЗ, і аналізуємо та порівнюємо гармоніки цього струму з  $\omega_0$  на предмет можливості виникнення резонансу на певній частоті.

Другий. Виходячи із (10), робимо висновок, що резонанс струмів не виникне, якщо ємність буде

$$\frac{L_3}{(\omega L_3)^2 + r_3^2} \neq C. \quad (11)$$

Також виконуємо спектральний аналіз струму  $i_3(t)$ , знаходимо його гармоніки і почергово підставляючи їх в (11), визначаємо, при якій  $C$  буде виконуватись нерівність (11).

Вибравши значення ємності, треба реально переконатись, по-перше, що режим розряду буде аперіодичним, а не коливальним і, по-друге, визначити часову залежність потоку  $\Phi(t)$ , що дасть можливість встановити, чи дійсно він майже не змінюється за термін часу  $t_{3H}$  зняття напруги. Для цього запишемо рівняння за другим законом Кірхгофа для миттєвих величин для розрядного контура рис. 4.

$$r_3 \cdot i_3(t) + L_3 \frac{di_3}{dt} + u_C(t) = 0. \quad (12)$$

Враховуючи, що  $i_3(t) = i_{\text{роз}}(t) = C(du_C/dt)$ , після деяких простих перетворень, отримаємо:

$$\frac{d^2 u_C}{dt^2} + \frac{r_3}{L_3} \frac{du_C}{dt} + \frac{1}{CL_3} u_C(t) = 0. \quad (13)$$

Розв'язавши рівняння (13) при заданій початковій умові  $u_C(t) = r_3 \cdot I$ , знаходимо часову залежність зміни напруги  $u_C(t)$  на ємності у перехідному процесі розряду накопичувача за відомим виразом

$$i_3(t) = i_{\text{роз}}(t) = C \frac{du_C}{dt}. \quad (13)$$

Визначаємо струм в ОЗ  $i_3(t)$ . Далі, для заданого певного двигуна ЕРС маємо криву намагнічення  $\Phi(i_3)$ . Перебудовуємо криві  $i_3(t)$  і  $\Phi(i_3)$ , отримаємо  $\Phi(t)$ .

#### ВИБІР ТИПУ ЕЛЕМЕНТА НАКОПИЧУВАЧА

В якості ємнісного накопичувача пропонується використовувати іоністори або суперконденсатори. Згідно [9] розглядається застосування іоністорів типу ЭСМА серії 300, які випускаються серійно, мають ККД, рівний 0,86 і питому енергоємність  $17,25 \cdot 10^5$  Дж/кг. Перспективними є також іоністори, що розроблені в лабораторіях ІОНХ ім. Вернадського [9]. Їх питома ємність складає  $10$  Ф/см<sup>3</sup>, енергоємність 45 Дж/кг, виготовлені на ємність 240...300 Ф і витримують мільйони циклів заряд-розряд при температурі від  $-50^\circ$  до  $70^\circ$ .

В [3] в якості накопичувачів пропонується суперконденсатори, які можуть мати ємність  $1...10^4$  Ф, до 107 циклів заряд-розряд без втрати ємності, напругу окремого елемента до 2,3 В. Промисловість виготовляє модулі з послідовним з'єднанням окремих елементів.

Автор роботи [10] пропонує використання конденсаторів типу 20ЭК404, які мають габарити  $330 \times 346 \times 249$  мм, масу 25 кг, ємність 500 Ф, напругу 15 В і внутрішній опір 2,5 мОм.

Певно, з часом будуть розроблятися нові типи конденсаторів з покращеними параметрами і тому питання вибору типу накопичувача буде розв'язуватися простіше.

#### РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНИХ РОЗРАХУНКІВ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Виконаємо вибір величини ємності  $C$  та розрахунок  $i_3(t)$ ,  $\Phi(t)$ , для тягового електродвигуна типу ЕД141У1 електровоза ДЕ1; дані його обмотки збудження:  $r_3 = 25,3$  мОм,  $L_3 = 4,9$  мГн (при  $I_{\text{ном}}$ ) [11].

Спектри миттєвих графіків тягового струму електровозів в їх нормальному режимі роботи приведені на рис. 7.

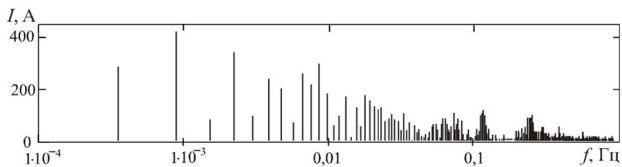


Рис. 7. Спектри миттєвих графіків тягового струму електровозу ДЭ1 [7]

Для визначення резонансної частоти  $\omega_0$  в аварійному режимі "зняття відновлення" напруги на струмоприймачі скористаємося дискретним перетворенням Фур'є [12]. Для перехідного струму якоря, представленого на рис. 6, дискретний спектр має вигляд рис. 8.

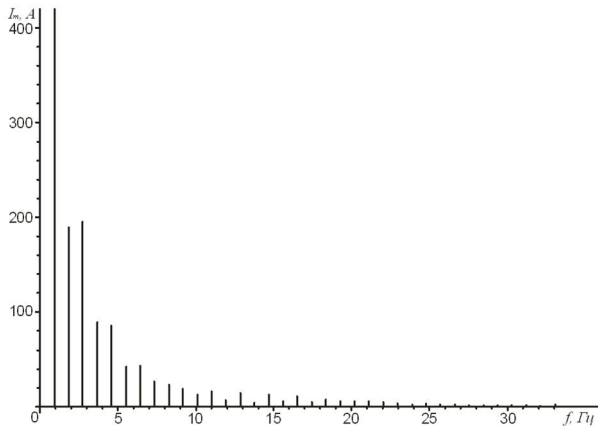


Рис. 8. Спектрограма струму якоря ТЕД в режимі "відрив-торкання" струмоприймача

Як випливає із рис. 7 та 8 найбільш значимі гармоніки коливаються у межах частот  $f=(5 \cdot 10^{-4} \dots 15)$  Гц. Для уникнення резонансу струмів на цих частотах, дотримуючись умов (2), (8), (9), (11), нами було визначено, що значення ємності С повинно бути більше 30 Ф. Для реалізації вітки накопичення для розгляданого вище типу двигунів було обрано накопичувач з ємністю  $C=500$  Ф.

Для уникнення значних кидків струму в початковий момент часу заряду і розряду конденсатора послідовно з суперконденсатором увімкнено резистори. Схема увімкнення вітки накопичення Н1...Н8 паралельно обмоткам збудження ОЗ1...ОЗ8 для "СП" з'єднання представлена на рис. 9.

Під час заряду конденсатора відкритий діод VD1, заряд відбувається через резистор опором 1 Ом, для обмеження струму заряду. Під час різкого спаду магнітного потоку при відриві струмоприймача, конденсатор розряджується через резистор опором 100 Ом: оскільки діод VD2 відкритий, а VD1 закритий. Вибір значення опору останнього резистора пояснюється налаштуванням на частоту  $f=2,5 \cdot 10^{-5}$  Гц, яка знаходиться поза межами області значень найбільш впливових частот.

Для підтвердження розглядуваної практичної реалізації, за схемою заміщення рис. 9, автором було створено математичну модель "відриву-торкання" струмоприймача до контактного проводу. Вихідними даними математичного моделювання були основні параметри ТЕД ЕД-141У1: напруга на струмоприймачі  $U_c=3000$  В, напругу заряду конденсатора визначено як незалежну початкову умову  $U_C=15$  В струм якоря

на 40-й ходовій позиції "СП" з'єднання вантажного електровозу ДЕ1 прийнято  $I_{я}=565$  А (встановлюється машиністом, під час руху електровозу). Значення кутової частоти та магнітного потоку для проти-е.р.с. ТЕД було отримано за електромеханічними характеристиками локомотива.

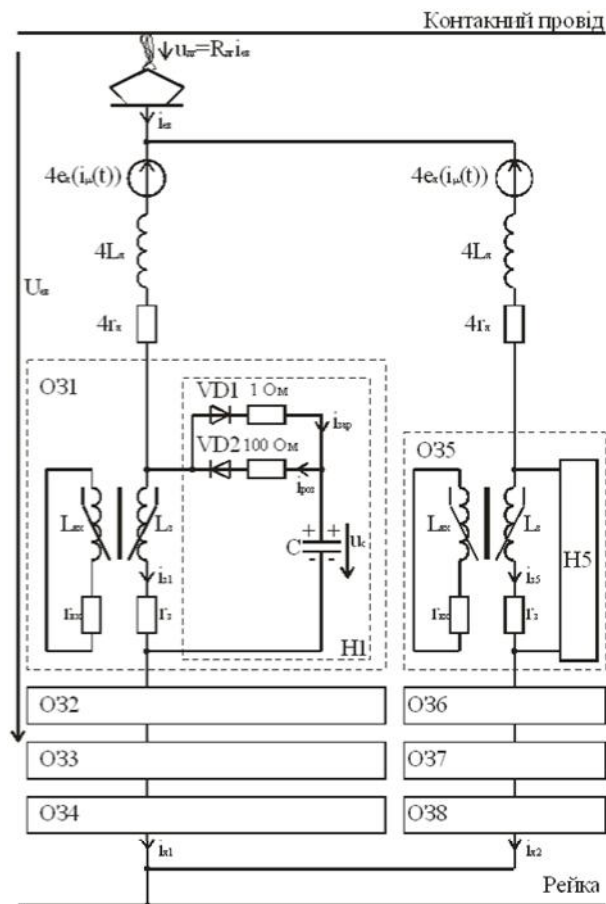


Рис. 9. Схема увімкнення вітки накопичення до обмотки збудження

Часові залежності магнітного потоку  $\Phi(t)$  ТЕД і струму електровоза  $i_{ев}(t)$  з накопичувачем і без нього зведені в одних площинах і представлені відповідно на рис.10 і 11.

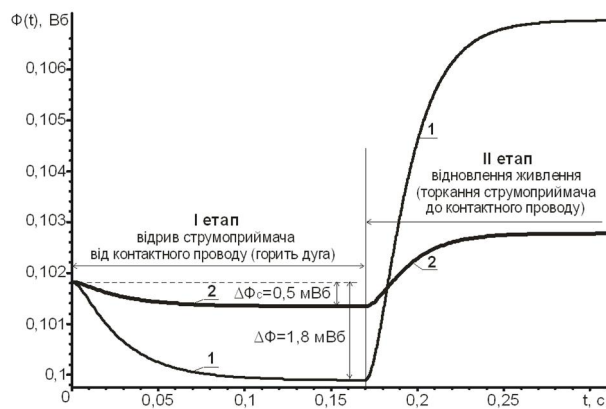


Рис. 10. Часові залежності зміни магнітного потоку ТЕД в режимі "зняття-відновлення" напруги на струмоприймачі: 1 – без ємнісного накопичувача; 2 – з суперконденсатором

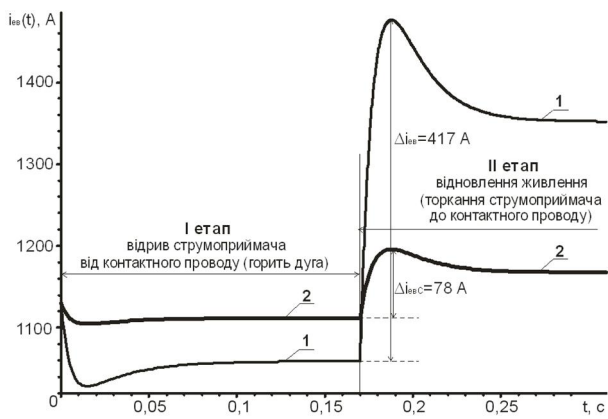


Рис. 11. Часові залежності зміни струму електровозу в режимі "зняття-відновлення" напруги на струмоприймачі: 1 – без ємнісного накопичувача; 2 – з суперконденсатором

З наведених графіків впливає таке.

1. Магнітний потік  $\Phi(t)$  при наявності конденсаторного накопичувача спадає лише на  $\Delta\Phi_c=0,5$  мВб, в той час як його спад без накопичувача дорівнює  $\Delta\Phi=1,8$  мВб.

2. Наслідками п. 1 є значне зменшення кидка струму електровоза  $\Delta i_{sc}$ , який у колі без накопичувача у  $(417/78)\approx 5,3$  рази перевищує максимальне значення струму електровозу з вітками накопичення енергії.

Таким чином, наслідком увімкнення вітки накопичення паралельно ОЗ, буде значне покращення потенціального стану на колекторі ТЕД, а це, у свою чергу, зменшить кількість аварійних режимів перекриття колекторних пластин коловим вогнем.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Сердинов С.М. Анализ работы и повышение надежности устройств энергоснабжения электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1975 – 365 с.
- Мищенко Т.М. Підвищення ефективності роботи системи захисту силових кіл електровозів ДЕ 1 на основі досліджень перехідних аварійних електромагнітних процесів: Дис. канд. техн. наук. – Д.: ДНУЗТ, 2007. – 219 с.
- Широченко Н.Н., Алексеев Е.Н., Ванін І.В., Охотников Н.С. Канденсаторные накопители энергии для электроподвижного состава // Локомотив. – 2008. – № 8. – С. 31-33.
- Охотников Н.С. Использование накопителей энергии для повышения тяговых свойств электровозов // Вестник ВНИИЖТа. – 2010. – № 5. – С. 33-36
- Евстафьев А.М. Применение емкостных накопителей на электрическом подвижном составе// Электрификация, инновационные технологии, скоростное и высокоскоростное движение на железнодорожном транспорте. Материалы 5-го Международного симпозиума. Eltrans 2009. Российские железные дороги. Санкт-Петербург. 2009. – С. 537-545.
- Колб А.А. Аккумуляция энергии рекуперации электрифицированного транспорта с помощью емкостных энергонакопителей // Вісник ДНУЗТ. – 2010. – № 31. – С. 89-94.
- Саблін О.І. Повышение эффективности электропотребления электроподвижного состава постоянного тока: Дис. канд. техн. наук – Д.: 2009. – 190 с.
- Костін М.О., Шейкіна О.Г. Теоретичні основи електротехніки. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – Т. 2. – 276 с.
- Сергієнко М.І., Панасенко М.В., Пеліпейченко В.І., Гордієнко Д.О. Оцінка ефективності застосування накопичувачів електроенергії в енергетичній установці дизель-поїзда ДЕЛ-02 // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 4. – С. 29-35.

10. Охотников Н.С. Повышение тяговых свойств электроподвижного состава при помощи накопителей энергии // Вестник ВНИИЖТа. – 2009. – № 3. – С. 27-31.

11. ЗТП.000.021.РЭ1. Электровоз магистральный ДЭ1. Руководство по эксплуатации. Описание и работа. – Д.: УЭЛНИИ, 2002. – Ч. 1. – 386 с.

12. М.О. Костін, П.Є. Михаліченко. Гармонійний склад фідерних напруг та струмів при аварійних режимах тягової мережі // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. 4/2011 (16). – С. 85-90.

**Bibliography (transliterated):** 1. Serdinov S.M. Analiz raboty i povysheniye nadezhnosti ustrojstv `energосnabzheniya `elektrificirovannyh zheleznih dorog. - M.: Transport, 1975 - 365 s. 2. Mischenko T.M. Pidvischennya efektyvnosti roboty sistemi zahistu silovih kil elektrovoziv DE 1 na osnovi doslidzhen' perehidnih avarijnih elektromagnitnih procesiv: Dis. kand. tehn. nauk. - D.: DNUZT, 2007. - 219 s. 3. Shirochenko N.N., Alekseev E.N., Vanin I.V., Ohotnikov N.S. Kandsatornye nakopiteli `energii dlya `elektropodvizhnogo sostava // Lokomotiv. - 2008. - № 8. - S. 31-33. 4. Ohotnikov N.S. Ispolzovanie nakopitelej `energii dlya povysheniya tyagovyh svojstv `elektrovozov // Vestnik VNIIZhTa. - 2010. - № 5. - S. 33-36. 5. Evstafjev A.M. Primenenie emkostnyh nakopitelej na `elektricheskom podvizhnom sostave// `Elektrifikacija, innovacionnye tehnologii, skorostnoe i vysokoskorostnoe dvizhenie na zheleznodorozhnom transporte. Materialy 5-go Mezhdunarodnogo simpoziuma. Eltrans 2009. Rossijskie zheleznye dorogi. Sankt-Peterburg. 2009. - S. 537-545. 6. Kolb A.A. Akkumulirovanie `energii rekuperacii `elektrificirovannogo transporta s pomoshch'yu emkostnyh `energonakopitelej // Visnik DNUZT. - 2010. - № 31. - S. 89-94. 7. Sablin O.I. Povysheniye `effektivnosti `elektropotrebleniya `elektropodvizhnogo sostava postoyannogo toka: Dis. kand. tehn. nauk - D.: 2009. - 190 s. 8. Kostin M.O., Shejkina O.G. Teoretichni osnovi elektrotehniki. - D.: Vid-vo DNUZT, 2007. - T. 2. - 276 s. 9. Sergienko M.I., Panasenکو M.V., Pelepejchenko V.I., Gordienko D.O. Ocinka efektyvnosti zastosuvannya nakopichuvachiv elektroenergii v energetichnij ustanovci dizel'-poizda DEL-02 // Zalizничний транспорт України. - 2011. - № 4. - S. 29-35. 10. Ohotnikov N.S. Povysheniye tyagovyh svojstv `elektropodvizhnogo sostava pri pomoshchi nakopitelej `energii // Vestnik VNIIZhTa. - 2009. - № 3. - S. 27-31. 11. ЗТП.000.021.Р'Е1. `Elektrovoz magistral'nyj D'Е1. Rukovodstvo po `ekspluataciji. Opisanie i rabota. - D.: U'ЕINII, 2002. - Ch. 1. - 386 s. 12. M.O. Kostin, P.Є. Mihalichenko. Garmonijnij sklad fidernih naprug ta strumiv pri avarijnih rezhimah tyagovoi merezhi // Elektromehanični i energozberigayuchi sistemi. Schokvartal'nij naukovо-virobnichij zhurnal. - Kremenчuk: KrNU, 2011. - Vip. 4/2011 (16). - S. 85-90.

Надійшла 13.03.2012

Михаліченко Павло Євгенович, к.т.н., доцент  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна  
кафедра "ТОЕ"  
49010, Дніпропетровськ, вул Академіка В.А. Лазаряна, 2  
тел. (056) 3731537, e-mail: miha\_pavel@mail.ru

Mihalichenko P.E.

#### A way of current surge reduction in an electric traction system in the emergency mode of deenergization-voltage recovery on the current collector.

Experimental and theoretical methods are employed to estimate influence of the current collector detachment-contact mode on electromagnetic processes in a DC electric train. It is proposed to use electric energy storage to reduce current surge at the moment of power supply recovery.

**Key words** – mathematical modeling, contact system, electromagnetic processes, DC electric train, current collector.