



МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ  
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТА  
ELECTRIFICATION OF TRANSPORT

# ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТУ

№ 2 / 2011

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ



2 / 2011

ДНІПРОПЕТРОВСЬК

**№ 2, 2011**

Видання Дніпропетровського національного університету  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Затверджений до друку Вченою радою університету  
протокол № 2 від 03.10.2011 р.

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**

**ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР**

**Сиченко В. Г.** к.т.н., доцент, ДНУЗТ, Україна

**ЗАСТУПНИК ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА**

**Кузнецов В. Г.** к.т.н., доцент, ДНУЗТ, Україна

**ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ**

**Андрієнко П. Д.** д.т.н., професор, ЗНТУ, Україна

**Бадьор М. П.** д.т.н., професор, МГУПС, Росія

**Бочков К. А.** д.т.н., професор, БелГУТ, Білорусь

**Гаврилюк В. І.** д.ф-м.н., професор, ДНУЗТ, Україна

**Гетьман Г. К.** д.т.н., професор, ДНУЗТ, Україна

**Гончаров Ю. П.** д.т.н., професор, НТУ ХП, Україна

**Денисюк С. П.** д.т.н., професор, НТУУ КП, Україна

**Дубинець Л. В.** д.т.н., професор, ДНУЗТ, Україна

**Жарков Ю. І.** д.т.н., професор, РГУПС, Росія

**Кім Є. Д.** д.т.н., професор, УПА, Україна

**Костін М. О.** д.т.н., професор, ДНУЗТ, Україна

**Омарбеков А. К.** д.т.н., професор, НДЦ КТЖ, Казахстан

**Панасенко М. В.** д.т.н., професор, ДНДЦ УЗ, Україна

**Саєнко Ю. Л.** д.т.н., професор, ПДТУ, Україна

**Сідоров О. О.** д.т.н., професор, ОмГУПС, Росія

**Стасюк О. І.** д.т.н., професор, ДЕТУТ, Україна

**ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР**

**Дьяков В. О.** к.т.н., доцент, ДНУЗТ, Україна

**ЛІТЕРАТУРНИЙ РЕДАКТОР**

**Босий Д. О.** к.т.н., доцент, ДНУЗТ, Україна

*Видання виходить 2 рази на рік з червня 2011 р.*

## ЗМІСТ

<b>Андрієнко П.Д., Шило С.І., Каплієнко О. О., Шевченко Н. М.</b> Дослідження реостатно – рекуперативного гальмування у системі імпульсного регулювання серієсного електродвигуна	6
<b>Баб'як М.О., Недужа Л.О., Котик В.Я.</b> Дослідження зносу накладок струмоприймачів електрорухомого складу постійного струму	10
<b>Бадер М. П.</b> Электромагнитные процессы в многопроводных линиях тягового электроснабжения	13
<b>Бялонь А., Длужневський А., Джон Л.</b> Методологія та проблеми проведення випробувань електромагнітної сумісності рухомого складу	20
<b>Бондар І.Л., Кагльак Г.В., Крушельницька Ю. С.</b> Ефективність компенсації реактивної потужності на ділянці електричної тяги змінного струму	26
<b>Власьевский С.В., Скорик В.Г., Буняева Е.В.</b> Снижение свободных колебаний напряжения в контактной сети при работе электровоза переменного тока в режиме рекуперативного торможения	29
<b>Войтиков Д. В., Иванов В.В.</b> К вопросу об интеграции технологий экспертной системы задачи текущего контроля состояния схемы секционирования контактной сети в АРМе участкового энергодиспетчера	31
<b>Босий Д.О., Мандич В. Г.</b> Визначення траєкторії розташування контактної провладу для фізичної моделі взаємодії контактної підвіски зі струмоприймачем електрорухомого складу	35
<b>Данилов О.А., Рябокін Б.А.</b> Реалізація двозонного захисту фідерів тягових підстанцій постійного струму 3,3 кВ на мікропроцесорному комплекті	41

## CONTENT

<b>Andriyenko P.D., Shylo S.I., Kapliyenko O. O., Shevchenko N.M.</b> The investigation of recuperative braking mode in the system of the series-wound electric motor impulsive	6
<b>Babyak M. O., Neduzha L.O., Kotyk V.A.</b> The investigation of protective strap's wear of pantographs electric rolling stock of direct current	10
<b>Bader M.P.</b> The electromagnetic processes in a multi-wire lines of the traction power supply	13
<b>Bialoń A., Dłużniewski A. John Ł.</b> Methodology and problems during testing electromagnetic compatibility of rolling stock	20
<b>Bondar I.L., Kaglyak G.V., Krushelnytska U.S.</b> The effectiveness of compensation reactive power in the area of the electric traction of alternating current	26
<b>Vlasyevskiy S.V., Skoryk V.G., Bunyaeva E.V.</b> The reduction of free oscillations of the voltage in the contact network when electric locomotive of alternating current is working in mode of regenerative braking	29
<b>Voytikov D. V., Ivanov V.V.</b> To the question about integration of technologies' consulting system task of current control of the modes' chart of sectioning contact network in APM of district's power dispatcher	31
<b>Bosiy D.A., Mandych V.G.</b> The definition of trajectory of disposition of the contact wire for physical models of reciprocity contact catenary with current collector of the rolling stock	35
<b>Danilov A.A., Riabokon B.A.</b> The implementation of two-band feeder protection DC traction substations 3.3 kV on microprocessor kit	41

**Костін М. О., Саблін О. І.,  
Нікітенко А. В.**

Вплив рекуперації та вибігу  
електрорухомого складу на його  
енергетичні показники ..... 44

**Костін М. О., Петров А. В.**

Енергетичні характеристики і показники  
електротягових мереж системи  
постійного струму ..... 47

**Кузнецов В. Г., Калашников К.А.**

Исследование зависимости потерь  
мощности в тяговой сети от показателей  
неравномерности потока поездов ..... 51

**Максимець С. М., Лагута А.Л.**

Діяльність залізниць як учасників  
оптового ринку електроенергії в Україні. 54

**Петров А.В., Костін М.О.**

Обґрунтування і методика визначення  
форми та параметрів струму компенсую-  
чого пристрою тягових мереж.....59

**Полях О. М.**

Можливість визначення низькоомної  
опори контактної мережі об'єднаних  
груповим заземленням без об'єднання ....62

**Саблін О.И., Бондарь О.И.**

Рациональное регулирование установ-  
ленной мощности тягового средства в  
процессе движения .....68

**Сидоров О.А., Ступаков В.М.,  
Филиппов В. М.**

Прогнозирование ресурса контактных  
пар устройств токосъема монорель-  
сового транспорта.....72

**Шкрабец Ф.П., Остапчук А.В.**

Разработка метода контроля параметров  
изоляции для использования в  
устройствах защиты от замыканий на  
землю в сетях 6-10 кВ сетевых районов  
электропитания.....76

**Kostin M.O., Sablin O.I.,  
Nikitenko A.V.**

The influence of recuperation and inertia  
running of the rolling stock on its power  
rates .....44

**Kostin M.O., Petrov A.V.**

The energy's characteristics and  
performances in the direct current electric  
traction system.....47

**Kuznetsov V. G., Kalashnikov K.A.**

The investigation of the dependence of  
power losses in contact lines on irregularity  
of trains flow .....51

**Maksymets S.M., Lahuta A.L.**

The activities of railways as members of the  
wholesale electric power market in  
Ukraine .....54

**Petrov A.V., Kostin M.O.**

The basic and method of determining the  
form and parameters of current of the  
compensating equipment of traction  
networks .....59

**Polyah O.M.**

The ability on finding the defective support  
of contact network combined by group  
ground connection without its  
disconnection.....62

**Sablin O.I., Bondar O.I.**

The rational regulation of mounted capacity  
of traction means in the process  
of moving .....68

**Sidorov O.A., Stupakov V.M.,  
Filippov V. M.**

The prognostication of resource contact  
pair of devices current transfer of monorail  
transport.....72

**Shkrabec F. P., Ostapchuk A. V.**

The development of method control  
isolation's parameters for the use in the  
devices of protecting from earth-faults in  
networks 6-10 kV of network districts of  
power supply .....76

**Ступаков С.А., Филиппов В. М.,  
Охрименко Т.В.**  
Моделирование изнашивания контактных пар устройств токосъема электрического транспорта .....80

**Катков О.С., Тодоренко В.А.,  
Тюрютіков О.І.**  
Модельовання несиметричних режимів роботи компенсаторів реактивної потужності у середовищі Simulink пакету Matlab.....83  
Анотації .....86

**Stupakov S.A., Filippov V. M.,  
Ohrimenko T.V**  
Simulation of wear of contact pairs of current collection devices electric vehicles...80

**Katkov O.S., Todorenko V.A.,  
Turutikov O.I.**  
Simulation asymmetric modes of reactive power compensators in the environment Simulink Matlab package.....83  
Annotations .....86

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОСТАТНО-РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ У СИСТЕМІ ІМПУЛЬСНОГО РЕГУЛЮВАННЯ СЕРІЄСНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

В даний час в електротранспорті застосовуються електроприводи з серієсними електродвигунами постійного струму. Область застосування електроприводів постійного струму з двигунами послідовного збудження (ДПЗ) досить широка - тяговий електропривод рухомого складу міського та залізничного транспорту. Пов'язано це з тим, що зміна моменту навантаження для даних механізмів добре узгоджується з електромеханічною характеристикою ДПЗ. Істотним чинником підвищення рентабельності роботи електротранспорту в цілому може бути заміна існуючого ТЕП на більш сучасні їх види.

Існує кілька схем регулювання швидкості серієсного двигуна постійного струму (ДПС), це: реостатному і імпульсна схеми.

Найбільш поширена реостатною схема регулювання швидкості серієсного ДПС [1], має такі недоліки як:

- наявність великої кількості контактної апаратури;
- втрати в пускових резистора, що знижують ККД;
- наявність додаткового обладнання для підтримки струму збудження в режимі динамічного гальмування;
- необхідність проведення частих діагностик і технічного обслуговування, що підвищує витрати на експлуатацію рухомого складу.

Отже, даний вид тягового електропривода (ТЕП) є досить неефективним і не електроенергоекономічним.

З розвитком силової електроніки найбільш раціональним способом усунення недоліків, наведених вище, є застосування імпульсних регуляторів частоти обертання ДПС, що дозволяє знизити до мінімуму число одиниць контактної апаратури і знизити споживання електроенергії в режимі пуску, гальмування, вибігу [2].

Імпульсна схема є більш економічною, але в режимі електромагнітного гальмування вимагає наявності додаткового обладнання, для підтримки струму в обмотці збудження. Тому авторами була запропонована модернізація

імпульсної схеми, яка дозволить спростити її та зробити ТЕП більш електроенергоекономічним.

Актуальністю даної статті є необхідність дослідження електромагнітних процесів в модернізованій схемі імпульсного регулювання в режимі рекуперативно-реостатного гальмування.

При моделюванні були прийняті наступні допущення: магнітна система двигуна не насичена, так само не враховувалося вплив реакції якоря.

Технічні характеристики тягового двигуна 1ДТ-003.5У [3]:

- номінальна напруга,  $U = 750$  В;
- потужність,  $P = 235$  кВт;
- сила струму,  $I = 300$  А;
- частота обертання,  $n = 1250$  хв-1;
- маса,  $m = 2300$  кг.

Параметри імітаційної моделі цього двигуна розраховувалися за методикою, наведеною в [4].

Метою цієї статті є дослідження електромагнітних процесів у вдосконаленій схемі з регулювання частоти обертання тягового електродвигуна постійного струму послідовного збудження (ДПВ) 1ДТ-003.5У в режимі реостатно-рекуперативного гальмування при різних співвідношеннях струму якоря та струму збудження.

Дане дослідження проводилось на базі досліджень [5, 6].

Проведено дослідження електромагнітних процесів у режим гальмування за умови рівності струму обмотки якоря двигуна і струму обмотки збудження при значеннях :

$I_{ном}$ , яке дорівнює  $300$  А,  $0,75I_{ном}$ ,  $0,5I_{ном}$ ,  $0,25I_{ном}$ .

Результати досліджень наведені на рис. 2

В результаті проведених досліджень визначили прямолінійну залежність струму рекуперації і гальмівного моменту від струму якорної обмотки двигуна і струму обмотки збудження – при їх збільшенні підвищуються гальмівний момент і струм рекуперації.

Проведемо дослідження електромагнітних процесів при різних співвідношеннях струму якоря двигуна і струму збудження обмотки за умови постійності гальмівного моменту.

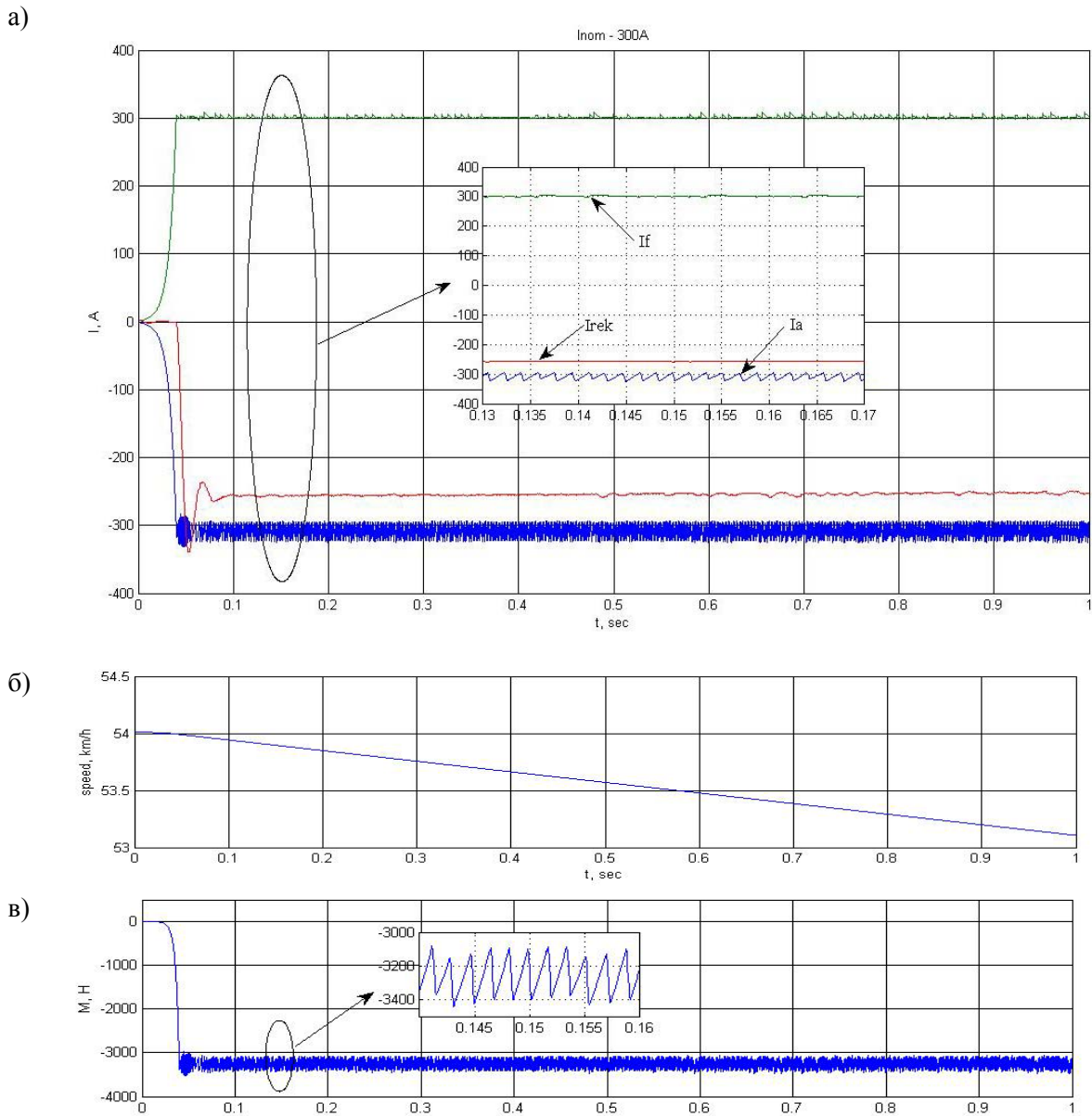


Рис. 2. Графічні залежності, що ілюструють результати моделювання: а) осцилограма струмів обмоток якоря ( $I_a$ ) і збудження ( $I_f$ ) в режимі  $I_a = I_f = 300A$ ; б) швидкість гальмування; в) гальмівний момент;

Задаємо значеннями гальмівного моменту величиною 1 кН, 2 кН, 3 кН, 4 кН. Для гальмівного моменту 1 кН отримуємо графічні залежності, наведені на рис. 3.

Зважаючи на здатність даної схеми працювати з різними співвідношеннями струмів обмоток якоря та збудження можна зробити висновок про те, що модернізована схема дозволяє використовувати ДПЗ як двигун постійного струму незалежного збудження з отриманням відповідних експлуатаційних характеристик.

Для отриманих значень струмів при кожному моменті гальмування будуємо залежності та отримуємо сімейство кривих, наведене на рис. 4.

В результаті проведених досліджень отримали значення співвідношень струмів, за

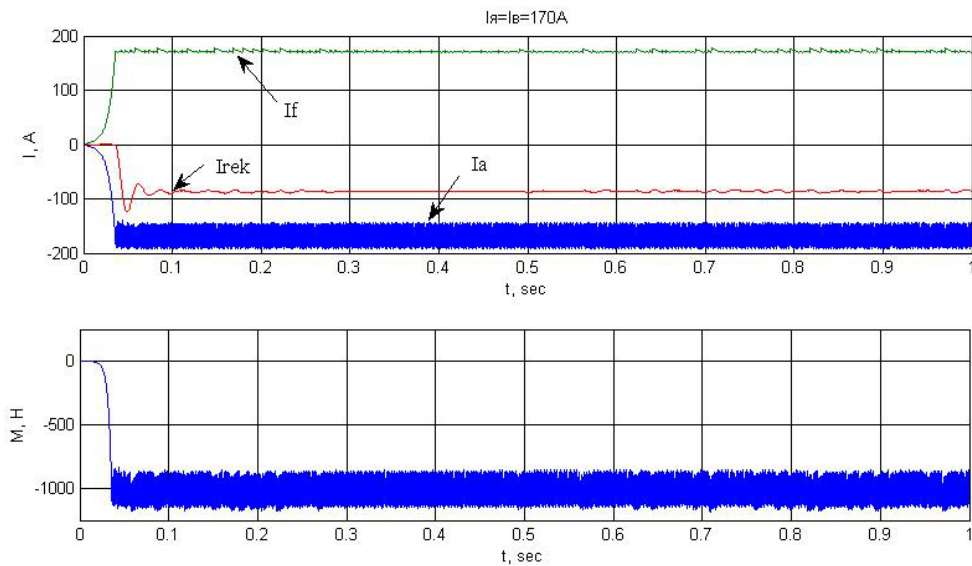
якими можливе здійснення певного гальмівного моменту при заданому струмі рекуперації, перевищення якого неприпустиме для тягової електромережі в разі відсутності споживачів на відповідній ділянці залізниці.

#### Висновки:

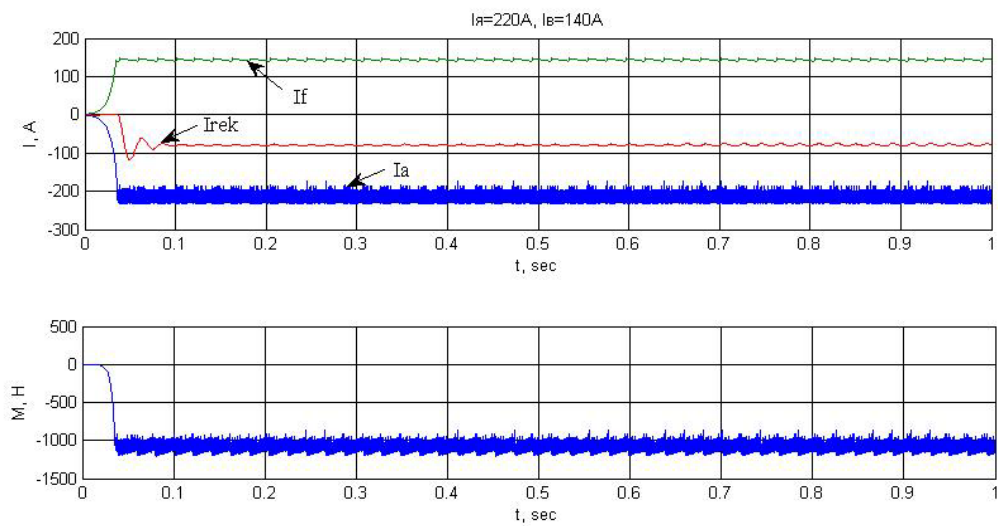
1. Проведено моделювання електромагнітних процесів широтно-імпульсного регулювання струму тягових електродвигунів постійного струму в режимі рекуперативно-реостатного гальмування.

2. Побудовано сімейство кривих співвідношень струмів обмоток якоря, збудження та струму рекуперації для гальмівних моментів 1 кН, 2 кН, 3 кН, 4 кН.

a)



б)



в)

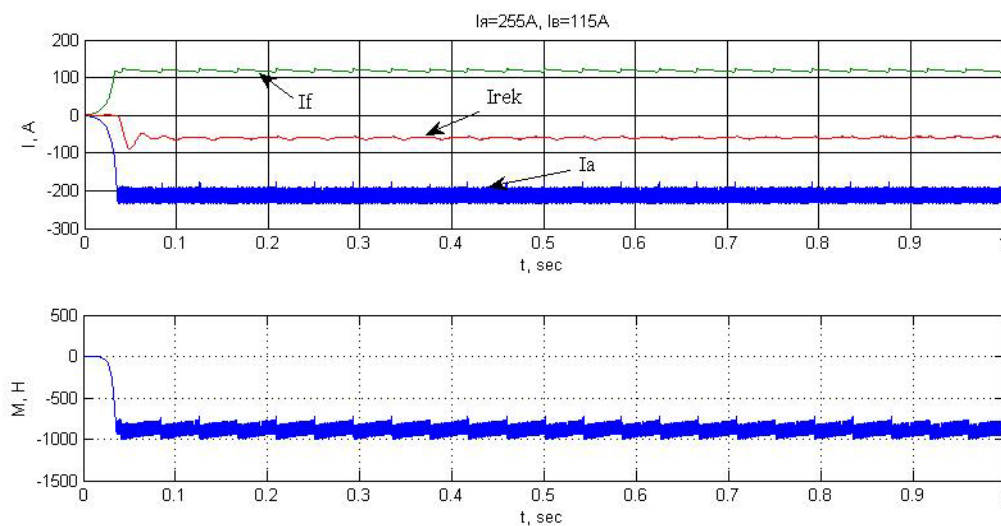


Рис. 3. Графічні залежності, що ілюструють результати моделювання рекуперативно-реостатного режиму гальмування електропоїзда при різних співвідношеннях струмів обмоток якоря ( $I_a$ ) і збудження ( $I_f$ ) для моменту 1 кН (а-г): а) режим  $I_a = I_f = 170\text{A}$ ; б) режим  $I_a = 220\text{A}$   $I_f = 140\text{A}$ ; в) режим  $I_a = 255\text{A}$   $I_f = 115\text{A}$

г)

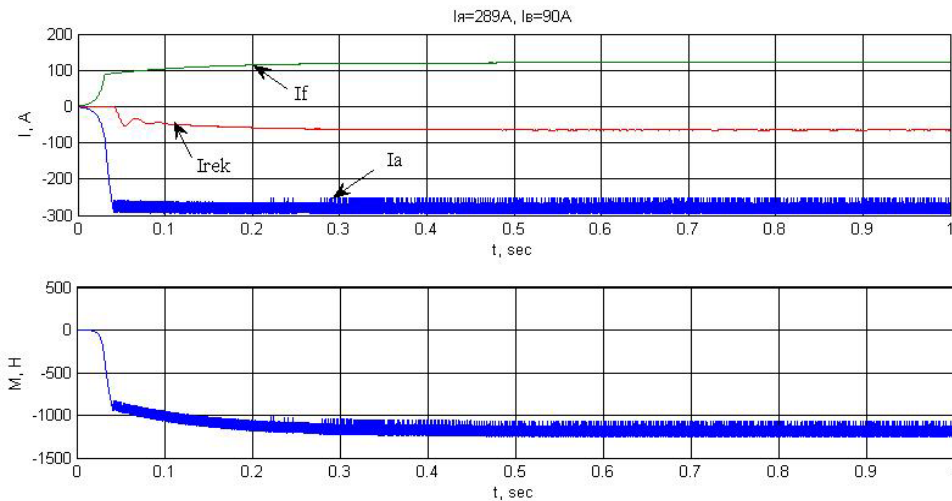


Рис. 3. Графічні залежності, що ілюструють результати моделювання рекуперативно-реостатного режиму гальмування електропоїзда при різних співвідношеннях струмів обмоток якоря ( $I_a$ ) і збудження ( $I_f$ ) для моменту 1 кН: г) режим  $I_a=289A$   $I_f=90A$ ;

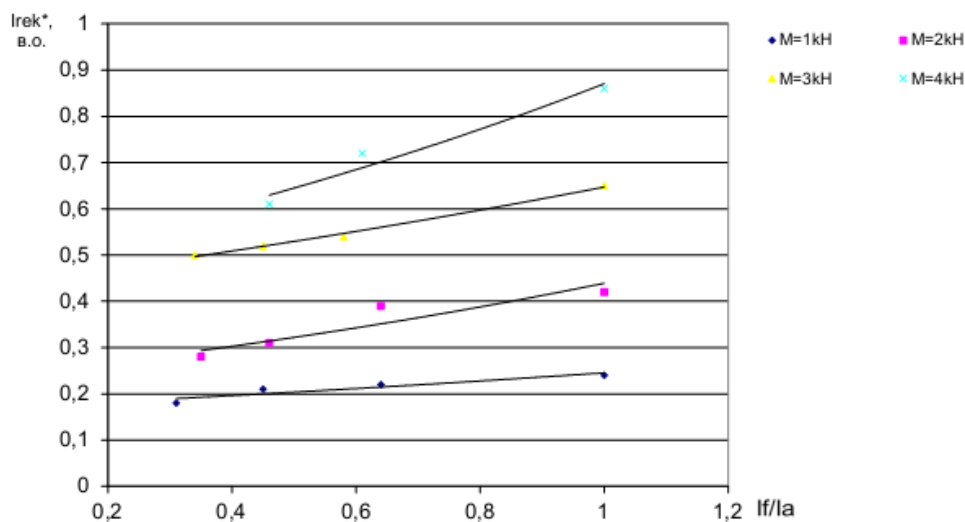


Рис. 4. Сімейство кривих співвідношень струмів для гальмівних моментів 1 кН, 2 кН, 3 кН, 4 кН

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Электричные машины та микромашини / В. П. Метельський – Запоріжжя : ЗНТУ, 2005. – 616 с.
2. Тугов Н. М. Полупроводниковые приборы / Н. М. Тугов, Б. А. Глебов, Н. А. Чарыков. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
3. Пегов Д. В. Руководство по устройству электропоездов ЭТ2, ЭР2Т, ЭД2Т, ЭТ2М / Д. В. Пегов, П. В. Бурцев, В. Е. Андреев – М. : Центр коммерческих разработок, 2003. – 184 с.
4. Герман-Галкин С. Г. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК / С. Г. Герман-Галкин, Г. А. Кардонов. – СПб. : Учитель и ученик, Корона-принт, 2003. – 256 с.
5. Андриенко П. Д. Исследование динамики серийного электродвигателя с различными импульсными схемами регулирования /

П. Д. Андриенко, А. О. Каплиенко, С. И. Шило // Электротехника та електроенергетика. – 2007. – № 1. – С. 1–5.

6. Андриенко П. Д. Исследование режимов торможения в системе импульсного регулирования серийного электродвигателя / П. Д. Андриенко, С. И. Шило, И. Ю. Немудрый // Электротехника та електроенергетика. – 2007. – № 2. – С. 11–14.

**Ключові слова:** электродвигун, послідовне збудження, постійний струм, рекуперація, гальмування, імпульсне регулювання

**Ключевые слова:** электродвигатель, последовательное возбуждение, постоянный ток, рекуперация, торможение, импульсное регулирование

**Keywords:** electric motor, series exciting, direct current, recuperation, braking, pulse control.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСУ НАКЛАДОК СТРУМОПРИЙМАЧІВ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

*Представив д.т.н., професор Гетьман Г.К.*

Робота здійснюється згідно вказівки ЦТ № 10/66 від 19.03.2009 та вказівки НЗ-2 № Г-122В від 28.04.2009, та договору 35/08 між ТОВ «Інтер-Контакт-Пріор» та науково-виробничим підприємством «УКРТРАНСАКАД».

Метою роботи є підвищення експлуатаційної надійності роботи контактної з'єднання «контактний провід – струмоприймач електровоза постійного струму».

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі основні задачі:

- аналіз особливостей роботи і видів пошкоджень струмоприймачів електровозів постійного струму;

- попередній вибір контактних матеріалів для накладок струмоприймачів і дослідження їх технологічних характеристик;

- експериментальні, в умовах реальної експлуатації електровозів, дослідження процесу зношення накладок із різних матеріалів;

- чисельна порівняльна оцінка технологічної та експлуатаційної стабільностей, а також показників параметричної надійності накладок із різних матеріалів;

- розробка методик і чисельна порівняльна оцінка показників параметричної надійності накладок із різних матеріалів за критерієм їх зносу;

- порівняльний техніко-економічний аналіз працездатності різних матеріалів в якості накладок струмоприймачів;

- розробка технологічної інструкції по підготовці та заміні зношених металокерамічних накладок міднографітовими та накладками із найбільш надійного матеріалу;

- впровадження результатів досліджень у локомотивних депо Укрзалізниці.

Основою наших досліджень є отримання об'єктивних результатів зносу міднографітових та металокерамічних накладок різних виробників, зокрема декількох модернізацій дослідних накладок ПКД-4 виробництва ТОВ «Інтер-Контакт-Пріор» в умовах експлуатації на струмоприймачах електровозів постійного струму.

Дослідження виконуються в умовах локомотивного депо Львів-Захід державного територіально-галузевого об'єднання «Львівська залізниця» та в лабораторіях Львівської філії ДНУЗТ.

Перед початком експлуатаційних випробувань було проведено лабораторні дослідження наданих для випробування накладок. Кожна накладка отримала свій порядковий номер, згідно з партією модернізації; заміряні товщина та маса кожної накладки; перевірено відповідність якості пластин до ТУ У 31.2-20573531-002:2007; на базі хіміко-технічної лабораторії перевірено характеристики дослідних накладок згідно погодженої ЦТ, ЦЕ «Програми та методики проведення експлуатаційних випробувань контактних пластин струмоприймачів електрорухомого складу залізничного транспорту».

Як відомо [1], контактні електропровідні матеріали повинні володіти високими: електро- та теплопровідністю; твердістю та механічною міцністю; температурами рекристалізації, плавлення та кипіння; теплоємністю. Вони повинні мати також низький коефіцієнт тертя, простий тип кристалічної ґратки, хорошу здатність до механічної обробки, а також не бути дефіцитними і високої вартості. Матеріали, які відповідають усім цим вимогам, поки що в практиці ще не знайдені, оскільки фізичні властивості металів та сплавів взаємопов'язані, тобто з покращенням однієї властивості контактної матеріалу погіршується інша. Тому пошуки необхідного електроконтактного матеріалу здійснювали виходячи з таких вимог. По-перше, він повинен бути матеріалом вітчизняного виробництва, щоб виключити його закупівлю локомотивними депо за валюту. По-друге, щоб він був менш зносостійким, ніж мідь для контактної провладу. По-третє, він повинен бути матеріалом невисокої вартості.

В Україні відсутні підприємства, які цілеспрямовано розробляють і виготовляють тільки електроконтактні матеріали для заміни міді, та інших дефіцитних матеріалів на накладках струмоприймачів електрорухомого складу.

Враховуючи це, а також ініціативу ТОВ «Інтер-Контакт-Пріор», м. Київ, для подальших експлуатаційних випробувань в якості матеріалів для накладок струмоприймачів були взяті такі матеріали (за порядковими номерами):

- матеріал №1 - пластина контактна на мідній основі для струмоприймачів електровозів постійного струму ПКД-4-1 ТУ У, ТОВ «Інтер-Контакт-Пріор»;

– матеріал №2 - пластина контактна на мідній основі для струмоприймачів електровозів постійного струму ПКД-4-2 ТУ У, ТОВ «Інтер-Контакт-Пріор»;

– матеріал №3 - пластина контактна на бронзовій основі для струмоприймачів електровозів постійного струму БрЗГ - 1 ТУ У;

– матеріал №4 - пластина контактна металокерамічна для струмоприймача електровозів постійного струму МГ-487 АТ «Електрокарбон», Словачія.

Нажаль, у дослідженнях не проходять випробування розробки таких українських підприємств, як ТОВ «Глорія», ТОВ «Інтермет», НВП «Теконт», та російські накладки ТОВ «ІТЦ «Диском»».

Дослідними накладками обладнано два пасажирських електровоза серії ВЛ10 (№1474 і №1486) та три вантажних електровоза серії ВЛ11<sup>м</sup> (№№ 048, 056, 083) приписки локомотивного депо Львів-Захід.

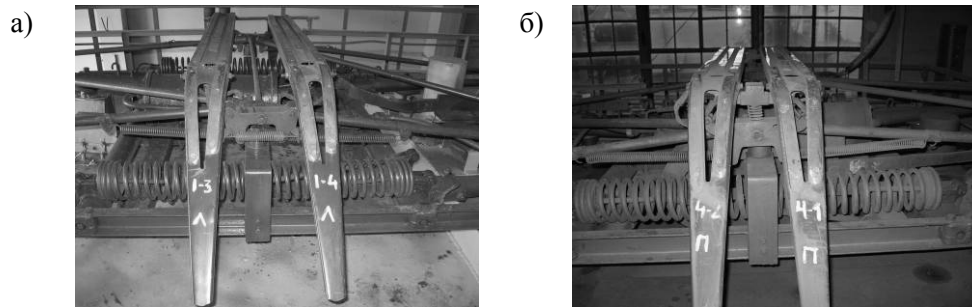


Рис. 1. Приклад розташування та позначення дослідних полозів на струмоприймачах електровозів: а) ВЛ10 – 1474, кузов 2; б) ВЛ11<sup>м</sup> – 048, секція Б

Схема розташування полозів з дослідними накладками на струмоприймачах передбачає їх роботу в обох напрямках при майже однаковому струмовому навантаженні на електровозах, і виглядає як показано на рис. 1.

На кожному електровозі заведено журнал обліку зауважень щодо випробування пластин в експлуатації, а також, згідно затвердженої програми, у відділі головного технолога ведеться журнал, в якому фіксуються висота пластин; пробіг пластин тис.км.; середній знос пластин

мм/10<sup>4</sup> км; стан поверхні пластин, погодні умови. Заміри товщини пластин проводять через 1000 км пробігу електровозів комісійно з залученням представників ТЧ-1, служби Е, Львівської філії ДНУЗТ.

На даний час пробіг накладок у вантажному русі становить 25...27 тис.км, у пасажирському – 37...40 тис.км. Попередні розрахунки інтенсивності зносу пластин дають такі результати (табл. 2).

Таблиця 1

Розташування полозів з дослідними накладками на електровозах

Серія, та № електровоза	Секція А (кузов 1)	Номера полозів	Секція Б (кузов 2)	Номера полозів
ВЛ11 <sup>м</sup> - 048	ПКД-4-1	1-1, 1-2	МГ-487	4-2, 4-1
ВЛ11 <sup>м</sup> - 056	БрЗГ - 1	3-1, 3-2	ПКД-4-2	2-2, 2-1
ВЛ11 <sup>м</sup> - 083	МГ-487	4-3, 4-4	БрЗГ - 1	3-4, 3-3
ВЛ10 - 1474	МГ-487	4-5, 4-6	ПКД-4-1	1-4, 1-3
ВЛ10 - 1486	ПКД-4-2	2-3, 2-4	МГ-487	4-8, 4-7

Таблиця 2

Інтенсивність зносу дослідних накладок (поточні розрахунки)

Матеріал накладки	Номер полоза	Електровоз серія і №	Пробіг, км	Інтенсивність зносу мм/10 <sup>4</sup> км			
				по лижі	середня частина	на електро-возі	по матеріалу
1	2	3	4	5	6	7	8
ПКД-1	№ 1-1	ВЛ11-048	26900	0,527	0,582	0,58	0,66
	№ 1-2	ВЛ11-048	26900	0,56	0,636		
	№ 1-3	ВЛ10-1474	37209	0,788	0,838	0,74	
	№ 1-4	ВЛ10-1474	37209	0,627	0,701		
ПКД-2	№ 2-2	ВЛ11-056	25012	0,63	0,713	0,66	0,66
	№ 2-1	ВЛ11-056	25012	0,625	0,673		
	№ 2-3	ВЛ10-1486	40658	0,656	0,701	0,67	
	№ 2-4	ВЛ10-1486	40658	0,629	0,685		

1	2	3	4	5	6	7	8
БрЗГ	№ 3-1	ВЛ11-056	25012	0,406	0,502	0,48	0,46
	№ 3-2	ВЛ11-056	25012	0,498	0,524		
	№ 3-3	ВЛ11-083	26619	0,379	0,447	0,44	
	№ 3-4	ВЛ11-083	26619	0,439	0,505		
МГ-487	№ 4-1	ВЛ11-048	26900	1,303	1,416	1,21	1,10
	№ 4-2	ВЛ11-048	26900	1,036	1,087		
	№ 4-4	ВЛ11-083	26619	1,087	1,186	1,07	
	№ 4-3	ВЛ11-083	26619	0,96	1,033		
	№ 4-5	ВЛ10-1474	37209	0,919	0,954	0,92	
	№ 4-6	ВЛ10-1474	37209	0,882	0,925		
	№ 4-7	ВЛ10-1486	40658	1,303	1,416	1,21	
	№ 4-8	ВЛ10-1486	40658	1,036	1,087		

Інтенсивність зносу накладок (0,38...1,4 мм на 10 тис.км пробігу) різна через наявність великої кількості кривих на Карпатському перевалі та струмове навантаження в залежності від роду роботи електровозів, що найбільш було помітно на струмоприймачах електровоза ВЛ 11<sup>М</sup> – 048, який майже місяць працював у режимі "шттовха-ча" на ділянці Сколе – Лавочне.

У процесі експлуатації струмоприймачів з дослідними накладками було виявлено характерні ушкодження для всіх електровозів постійного струму ВЛ10, ВЛ11<sup>М</sup>, що експлуатуються на ділянках Львів – Сянки - Чоп і Львів – Лавочне – Чоп (рис. 2), які не зустрічаються на ділянці Львів – Мостиська.

Найбільш частими пошкодженнями стали підгоряння (див. рис. 2а), у тому числі за допустимими межами відхилення контактної мережі (на сколах полозів).

Незначний механічний знос накладок супроводжувався суттєвим електроерозійним зносом останнього ряду накладок по ходу електровоза у вигляді "пропилів" (див. рис. 2б) з "перепалами"(див. рис. 2в). Такі ушкодження, вказують на недостатній контроль за справністю контактної мережі з боку працівників служби електропостачання, особливо під час значних перепадів температури (від +38 вдень до +15 уночі), що у свою чергу призводить до повного виходу з ладу накладок (див. рис. 2 г) через механічний злом.

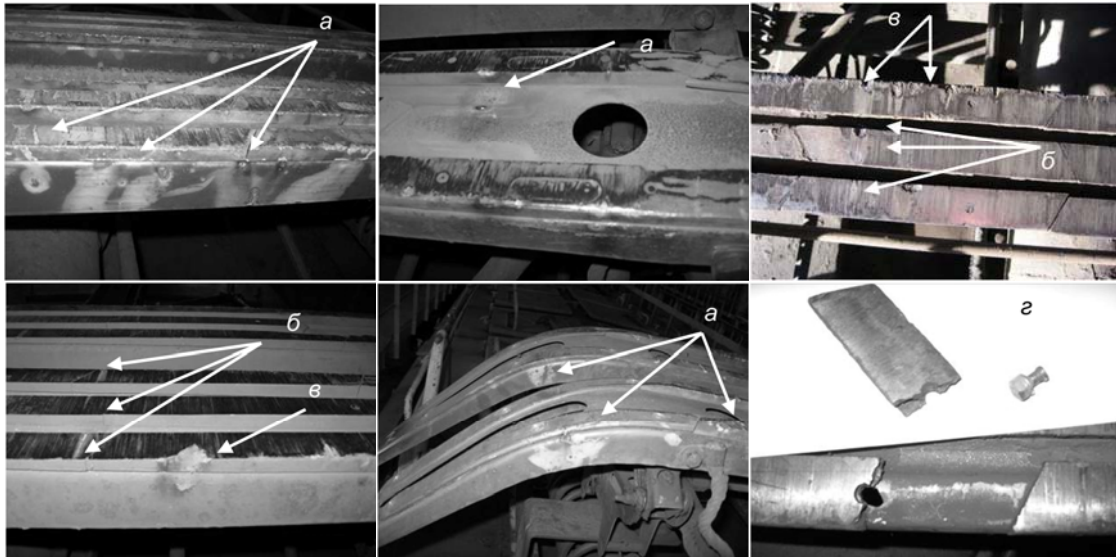


Рис. 2. Пошкодження накладок під час експлуатації:  
а – підгоряння; б – пропили; в – електроерозія зі сколами; г – злом накладки.

Проте, вже можна передбачити, що найбільш зносостійкими в порівнянні з пластинами із інших раніше досліджуваних нами матеріалів (НМГ-1200, ВЖЗП), у тому числі і базових МГ-487 є модернізовані пластини ПКД-4 та БРЗГ. Псування контактного проводу не зафіксовано. Випробовування продовжуються.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Усов В. В. Металловедение электрических контактов [Текст] / В. В. Усов. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 208 с.
2. Беляев И.А. Токосъём и токоприёмники электроподвижного состава / И.А. Беляев, В.П. Михеев, В.А. Шиян. – М.: Транспорт, 1976. – 184 с.

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЯХ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Складывающиеся в последние годы новые социально-политические условия потребовали разработки новой энергетической политики. Для решения этой актуальной проблемы возникает необходимость и в перевооружении хозяйства электроснабжения электрифицированных железных дорог, создании концепции обновления и технического развития тягового электроснабжения, разработке концептуальных решений по нетрадиционным системам тягового электроснабжения [1].

На железных дорогах мира эксплуатируется ряд различных систем электрической тяги, различающихся родом и частотой тока, а также уровнем напряжения в контактной сети. Наиболее широкое распространение получили две основные конкурирующие традиционные системы – это системы 25 кВ и 2х25 кВ переменного тока частотой 50 Гц и 3 кВ постоянного тока. Остальные системы можно отнести к нетрадиционным системам, которые были созданы на разных этапах электрификации железных дорог в процессе поиска наиболее приемлемых и технически реализуемых систем электрической тяги.

Существующие системы тягового электроснабжения не всегда в состоянии обеспечить провозную способность железных дорог. Следовательно, необходимо искать способы повышения тягово-энергетических возможностей эксплуатируемых систем тягового электроснабжения.

Мировой опыт показывает, что на участках с тяжеловесными и скоростными поездами с достаточно большим электропотреблением применяется исключительно система тягового электроснабжения переменного тока 27,5 кВ, которая имеет очень широкую возможность маневра энергетической эффективностью в зависимости от размеров движения. Так в сравнении с обычной системой электротяги 27,5 кВ система с усиливающими и экранирующими проводами (ЭУП) повышает провозную способность в 1,4 раза, автотрансформаторная система 2х25 кВ – в 1,8 - 1,9 раза. В США, Канаде, ЮАР применяется нетрадиционная система 50 кВ, обеспечивающая при длине межподстанционной зоны 60 км и 10-минутном интервале

весовые нормы поездов до 20 тыс. тонн. Дальнейшее увеличение провозной способности может быть достигнуто повышением уровня напряжения питающего провода выше традиционного напряжения 25 кВ – 35, 65, 94, 110 кВ. Возможность реализации систем с нетрадиционным повышенным напряжением в питающем проводе, а также автотрансформаторной системы 2х50 кВ практически полностью снимает ограничения пропускной способности по условиям электроснабжения.

Известно также, что одним из направлений повышения надёжности и эффективности тяговой сети переменного тока является её усиление, так как недостаточность сечения проводов приводит к увеличению потерь энергии и напряжения и связанное с последним показателем снижение скорости движения поездов. В настоящее время наибольшее распространение получили способы усиления тяговой сети за счет включения усиливающих и экранирующих проводов (ЭУП). Определённый эффект даёт также применение устройств ёмкостной компенсации.

Очередной виток научно-технического прогресса обусловлен бурным развитием силовой электроники и компьютерных технологий. Совершенствование системы электрической тяги и перспективы её развития предопределены необратимым процессом обновления всей системы преобразования энергии, затрачиваемой на перевозочный процесс. Применение преобразователей постоянного тока в трехфазный переменный ток, тиристорных преобразователей уровня напряжения постоянного тока, создание высокоэкономичных алгоритмов компьютерного управления преобразованием электроэнергии, замена коллекторных двигателей постоянного тока на бесколлекторные асинхронные трехфазного тока составляют основное направление технического перевооружения систем электрической тяги и в настоящее время широко используются в ряде промышленно развитых стран.

Существуют несколько способов повышение энергетической эффективности электрической тяги постоянного тока. Один из них - это усиление системы тягового электроснабжения

постоянного тока 3 кВ с помощью фидера постоянного тока повышенного напряжения 24 кВ и пунктов питания контактной сети на перегоне 24/3 кВ. При этом на тяговой подстанции устанавливается дополнительная выпрямительная установка 24 кВ. На пункте питания устанавливается преобразовательный модуль 24/3 кВ, состоящий из автономного инвертора и выпрямительного агрегата 3 кВ, а питающая линия прокладывается по опорам контактной сети.

Резко повысить пропускную способность и эффективность электрической тяги постоянного тока позволяет уровень напряжения в тяговой сети постоянного тока 24 кВ. В том числе значительно увеличить расстояние между подстанциями, снизить сечение проводов тяговой сети, уменьшить потери электроэнергии в устройствах электроснабжения, полностью устранить несимметрию питающего напряжения. Всё это и отсутствие индуктивных потерь при постоянном токе может превзойти по эффективности все системы переменного тока.

$$\|U\| = \begin{Bmatrix} U_1 \\ \vdots \\ U_n \end{Bmatrix} \quad \|I\| = \begin{Bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_n \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Представим уравнение для комплексной амплитуды потенциала  $k$ -го провода

$$U_K = \frac{j}{2\pi \cdot \omega \cdot \epsilon_0} \sum_{i=1}^n N_{ik} \frac{dI_i}{dx} \quad (2)$$

( $k=1, 2, \dots, n$ )

и уравнение

$$\sum_{i=1}^n B_{ik} \cdot I_i = 0 \quad (3)$$

( $k=1, 2, \dots, n$ )

где  $I_i$  - ток в  $i$ -м проводе;  $\omega$  - круговая частота;

$$B_{KK} = -\xi \cdot N_{KK} + F_{KK} + M_K; \quad (4)$$

$$B_{iK} = -\xi \cdot N_{iK} + F_{iK}$$

$$N_{iK} = \ln \frac{r'_{ik}}{r_{ik}}; \quad (5)$$

$$N_{KK} = \ln \frac{2h_K}{r_K}$$

Новые системы тягового электроснабжения требуют прокладки дополнительных проводов и использования многопроводных линий, поэтому очень важно создать методику расчета распространения электромагнитных колебаний вдоль многопроводных линий тягового электроснабжения, что позволит с высокой степенью точности обосновать их электромагнитную совместимость со смежными коммуникациями связи и устройствами железнодорожной автоматики.

В электротехнике общепринято анализировать распространение волн вдоль линии на основе решения телеграфных уравнений. Представляя телеграфные уравнения в матричной форме (речь о них уже шла выше), можно применить специфические матричные методы решения, которые хорошо реализуются на ЭВМ.

Определение телеграфных уравнений в матричной форме выглядит следующим образом.

Обозначим столбцевые матрицы напряжений и токов в проводах

$$r_{ik} = \sqrt{(h_i - h_k)^2 + (b_i - b_k)^2} \quad (6)$$

$$r'_{ik} = \sqrt{(h_i + h_k)^2 + (b_i - b_k)^2}$$

$$F_{ik} = 2 \int_0^\infty \frac{1}{v + \sqrt{v^2 - (k_3^2 - k_0^2)}} e^{-v(h_p + h_{ik})} \times \cos v(b_p - b_{ik}) \cdot dv \quad (7)$$

$\times \cos v(b_p - b_{ik}) \cdot dv$

$k_i = \omega \cdot \sqrt{\epsilon_i \mu_i}$  - волновое число;

в матричной форме

$$\|U\| = \frac{j}{2\pi \cdot \omega \cdot \epsilon_0} \|N\| \frac{d}{dx} \|I\| \quad (8)$$

$$\|B\| \|I\| = 0 \quad (9)$$

где  $\|N\|$  - квадратная симметричная ( $N_{ik} = N_{ki}$ ) матрица, члены которой определяются формулами (5);

$\|F\|$  - квадратная симметричная матрица, члены которой определяются выражением (7);

$\|M\|$  - диагональная матрица, ее члены определяются формулами

$$M_K = \frac{2\pi}{j\omega\mu_0} Z_{k \text{ внутр}} \quad (10)$$

$$Z_{k \text{ внутр}} = \frac{k_1 \rho_1 J_0(k_1 r_1)}{2\pi \cdot r_1 J_1(k_1 r_1)} \quad (11)$$

$J_0$  и  $J_1$  - функции Бесселя 1-го рода нулевого и 1-го порядков (индексы «1» при  $k$ ,  $\rho$  и  $g$  показывают, что эти величины относятся к первому проводу).

После дифференцирования (8) по  $X$ :

$$-\frac{d}{dx}\|U\| = -\frac{\gamma^2}{k_0^2} \cdot \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \|N\| \|I\| \quad (12)$$

Умножив уравнение (9) на величину  $\frac{j\omega\mu_0}{2\pi}$  и сложив результат с правой частью (12):

$$-\frac{d}{dx}\|U\| = \|Z\| \|I\| \quad (13)$$

Здесь квадратная симметричная матрица погонных сопротивлений линии:

$$\|Z\| = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} (\|N\| + \|F\| + \|M\|) \quad (14)$$

В этом выражении матрица  $\|N\|$  характеризует внешние собственные и взаимные индуктивные сопротивления проводов при идеальной проводимости земли, матрица  $\|F\|$  - дополнительные внешние собственные и взаимные сопротивления проводов, возникшие из-за конечной проводимости земли, а матрица  $\|M\|$  - собственные внутренние сопротивления проводов.

Из уравнения (8) получим:

$$-\frac{d}{dx}\|I\| = \|Y\| \|U\| \quad (15)$$

Здесь квадратная симметричная матрица погонных проводимостей земли:

$$Y = 2\pi\varepsilon_0 j\omega \cdot \|N\|^{-1} \quad (16)$$

где  $\|N\|^{-1}$  - матрица, обратная матрице  $\|N\|$ .

Итак, из уравнений Максвелла получены обычные телеграфные уравнения линии (13) и (15) в матричной форме.

Для решения уравнений (13) и (15), преобразуем их, исключая из них матрицы токов и напряжений:

$$\frac{d^2\|U\|}{dx^2} = \|P\| \|U\|; \quad \frac{d^2\|I\|}{dx^2} = \|P'\| \|I\| \quad (17)$$

Где обозначено:

$$\|P\| = \|Z\| \|Y\|; \quad \|P'\| = \|Y\| \|Z\| \quad (18)$$

Штрих сверху - знак транспозиции матрицы.

Решение уравнения (17) в матричном виде для напряжений на проводах  $n$ -проводной линии, написанное по аналогии с решением для двухпроводной линии, имеет вид:

$$\|U\| = e^{-\|T\|X} \|B_1\| + e^{\|T\|X} \|B_2\| = \|U_{nad}\| + \|U_{omp}\| \quad (19)$$

Здесь квадратная недиагональная матрица коэффициентов распространения;

$$\|T\| = (\|Z\| \|Y\|)^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

где  $e^{-\|T\|X}$ ,  $e^{\|T\|X}$  - экспоненциальные функции от квадратной матрицы  $\|T\|X$ , которые так же являются квадратными матрицами;  $\|B_1\|, \|B_2\|$  - столбцевые матрицы постоянных интегрирования.

Главной трудностью является вычисление функции от матрицы. Для этого предварительно необходимо определить все собственные значения матрицы  $\|P\|$ , то есть найти все коэффициенты распространения волновых каналов. Однако непосредственная диагонализация этой матрицы связана с серьезными вычислительными трудностями, так как коэффициенты распространения различных волновых каналов мало отличаются по модулю друг от друга. Решение существенно упрощается, если преобразовать матрицу  $\|P\|$  так, чтобы при диагонализации получать матрицу не коэффициентов распространения, а малых относительных поправок, учитывающих влияние потерь.

Из уравнений (18), (14) и (16) следует:

$$\|P\| = \gamma_0^2 (\|1\| + \|T\|) \quad (21)$$

где

$$\|T\| = (\|F\| + \|M\|) \|N\|^{-1} \quad (22)$$

$\|1\|$  - диагональная единичная матрица.

Подставляя выражения (21) в уравнение

$$\|\lambda\|^{-1} \|P\| \|\lambda\| = \|\gamma^2\| \quad (23)$$

где  $\|\gamma^2\|$  - диагональная матрица собственных значений;

$\|\alpha\|$  - квадратная матрица собственных векторов,

получаем

$$\|\lambda\|^{-1} \|T\| \|\lambda\| = \|\xi\| \quad (24)$$

где диагональная матрица малых относительных поправок, которая определена как матрица собственных значений матрицы  $\|T\|$

$$\|\xi\| = \frac{1}{\gamma_0^2} \|\gamma^2\| - \|1\| \quad (25)$$

Диагонализация этой матрицы производилась по алгоритму «COMLR2». Смысл этого алгоритма заключается в следующем. Сначала исходная матрица приводится к верхнетреугольной матрице (форме Хесенберга).

Затем вычисляются собственные значения и собственные векторы произвольной матрицы ( $n \times n$ ).

Из выражения (25) получаем

$$\|\gamma^2\| = \gamma_0^2 (\|\xi\| + \|1\|) \quad (26)$$

где коэффициент распространения линии без потерь:

$$\begin{aligned} \gamma_0 &= jk_0 \\ k_0 &= \omega \sqrt{\varepsilon_0 \mu} = \frac{2\pi}{3} 10^{-8} f \end{aligned} \quad (27)$$

Используя выражение для вычисления функции от матрицы (20), можно записать

$$\|G\| = \|\lambda\| \|\gamma\| \|\lambda\|^{-1} \quad (28)$$

где  $\|\gamma\|$  - диагональная матрица, члены которой являются квадратными корнями из членов матрицы  $\|\gamma^2\|$ .

Квадратная матрица фазных волновых сопротивлений вычисляется по формуле

$$\|Z_0\| = \|G\|^{-1} \|Z\| \quad (29)$$

При  $x = l$  и  $x = 0$  из уравнений (19) с использованием (29) имеем:

$$\left. \begin{aligned} \|U_K\| &= e^{-\|G\|l} \|B_1\| + e^{\|G\|l} \|B_2\| \\ \|Z_0\| \|I_K\| &= e^{-\|G\|l} \|B_1\| - e^{\|G\|l} \|B_2\| \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

$$\left. \begin{aligned} \|U_K\| &= \|B_1\| + \|B_2\| \\ \|Z_0\| \|I_K\| &= \|B_1\| - \|B_2\| \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

Определяя матрицы  $B_1$  и  $B_2$  из уравнений (25) и подставляя результаты в (31), после преобразования получаем матричные телеграфные уравнения фазных токов и напряжений в начале и конце симметричного многополюсника, где

$$\begin{aligned} ch\|G\|l &= \|\lambda\| ch\|\gamma\| l \|\lambda\|^{-1} \\ sh\|G\|l &= \|\lambda\| sh\|\gamma\| l \|\lambda\|^{-1} \end{aligned} \quad (32)$$

Связь между напряжениями и токами в начале и конце многопроводной линии (в общем случае  $2n+1$ -полюсника) может быть представлена разными типами матричных уравнений, из которых наиболее употребляемыми являются:

$$\left. \begin{aligned} \|U_H\| &= \|A_{11}\| \|U_K\| + \|A_{12}\| \|I_K\| \\ \|I_H\| &= \|A_{21}\| \|U_K\| + \|A_{22}\| \|I_K\| \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

$$\left. \begin{aligned} \|I_H\| &= \|Y_{11}\| \|U_H\| + \|Y_{12}\| \|U_K\| \\ \|I_K\| &= \|Y_{21}\| \|U_H\| + \|Y_{22}\| \|U_K\| \end{aligned} \right\} \quad (34)$$

$$\left. \begin{aligned} \|U_H\| &= \|Z_{11}\| \|I_H\| + \|Z_{12}\| \|I_K\| \\ \|U_K\| &= \|Z_{21}\| \|I_H\| + \|Z_{22}\| \|I_K\| \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

Поскольку все эти уравнения могут описывать один и тот же  $2n+1$ -полюсник, между блоками матриц  $\|A\|$ ,  $\|Y\|$  и  $\|Z\|$  существует линейная зависимость. Так, например, можно записать

$$\left. \begin{aligned} \|Y_{11}\| &= \|A_{22}\| \|A_{12}\|^{-1} \\ \|Y_{12}\| &= \|A_{21}\| - \|A_{22}\| \|A_{12}\|^{-1} \|A_{11}\| \\ \|Y_{21}\| &= \|A_{12}\|^{-1} \\ \|Y_{22}\| &= -\|A_{12}\|^{-1} \|A_{11}\| \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

Известно, что цепочечное соединение многополюсников удобнее всего описываются зависимостью типа  $\|A\|$ , параллельное - зависимостью  $\|Y\|$  и последовательное - зависимостью типа  $\|Z\|$ .

Для однотипного соединения  $m$ -полюсников результирующая матрица эквивалентного многополюсника определяется:

$$\|A_{\text{рез}}\| = \prod_{i=1}^m \|A_i\| \quad (37)$$

Для того, чтобы рассчитать величины токов и напряжений полюсов  $2n+1$ -полюсника, необходимо задать для него граничные условия. В наиболее общем виде граничные условия на входе и на выходе  $2n+1$ -полюсника задаются с помощью полных  $n+1$ -полюсников, активных для передающего и пассивных для приемного конца.

Нагрузка представляется в виде матрицы  $\|Y_k\|$ , которая выглядит следующим образом:

$$Y = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n Y_{1i} & -Y_{12} & \dots & \dots & -Y_{1n} \\ -Y_{12} & \sum_{i=1}^n Y_{2i} & \dots & \dots & -Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ -Y_{n1} & -Y_{n2} & \dots & \dots & \sum_{i=1}^n Y_{ni} \end{pmatrix} \quad (38)$$

где  $Y_{Ki} = Y_{iK}$  - проводимость между  $k$ -м и  $i$ -м полюсами  $n+1$ - полюсника.

В общем виде нагрузка задается с помощью элементов  $R$ ,  $L$  и  $C$ .

Выражение для матричной входной проводимости запишется

$$\|Y_{BX}\| = (\|A_{21}\| + \|A_{22}\| \|Y_K\|)(\|A_{11}\| + \|A_{12}\| \|Y_K\|)^{-1} \quad (39)$$

Схема полного активного  $n+1$ -полюсника отличается от схемы пассивного тем, что его ветви содержат источники э.д.с. или источники тока.

Таким образом, зная входную проводимость линии (39) можно получить напряжение в ее начале

$$\|U_H\| = (\|1\| + \|Z_{\Gamma}\| \|Y_{BX}\|)^{-1} \|E\| \quad (40)$$

и далее можно определить все оставшиеся токи и напряжения в начале и конце линии:

$$\|U_K\| = (\|A_{11}\| + \|A_{12}\| \|Y_K\|^{-1}) \cdot \|U_H\| \quad (41)$$

$$\|I_H\| = (\|A_{21}\| + \|A_{22}\| \|Y_K\|) \cdot \|U_K\| \quad (42)$$

$$\|I_K\| = \|Y_K\| \|U_K\| \quad (43)$$

При заданной схеме транспозиции можно написать следующие равенства

$$\left. \begin{aligned} \|U_H\| &= \|N_T\| \|U_K\| \\ \|I_H\| &= \|N_T\| \|I_K\| \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

где  $\|N_T\|$  - матрица  $n$ -го порядка идеального преобразователя напряжений (токов).

В матрице  $\|N_T\|$  элементы, лежащие на пересечении  $i$ -й строки и  $k$ -го столбца ( $i$  - номер провода до транспозиции,  $k$  - после транспозиции), равны единице, а остальные равны нулю.

Так как транспозиция не накладывает никакой связи между матрицами напряжений и токов проводов, то матрицы типа  $A$  для транспозиции имеют квазидиагональную структуру:

$$\left. \begin{aligned} \|A_{11}\| &= \|N_T\|; & \|A_{12}\| &= 0 \\ \|A_{21}\| &= 0; & \|A_{22}\| &= \|N_T\| \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

В исходные данные вносится расчётная схема замещения.

Так как к линиям продольного электроснабжения 10 кВ подключается большое количество однофазных потребителей, как правило, малой мощности, то на схеме замещения нагрузка может быть задана средними значениями элементов активно-индуктивного характера  $R_H$ ,  $L_H$  и условно приложенная в конце фидерного участка.

Для представления информации об уровнях гармоник используем графическое представление в системе трех координат, что позволяет количественно оценить напряжения гармонических в продольной линии электроснабжения 10кВ во всех точках участка с помощью трехмерной диаграммы, приведенной на рис. 1 и рис. 2. На этих рисунках показаны два крайних случая на конце линии – линия разомкнута и линия коротко замкнута. Разница в значениях гармоник вдоль линии определяется свойствами стоячей волны и сдвигом резонансных частот на конце линии.

На всех шинах имеют место главные резонансы, причем первый происходит между четвертой и пятой гармониками, а второй – между 19-й и 20-й, что соответствует резонансам, отмеченным на подстанции.

Ток прямой последовательности каждой гармоники (до 25 включительно), выраженный в относительных единицах, поступает от подстанции в Фадино. Напряжениям, вызываемым протеканием тока, соответствуют рассчитанные сопротивления, т.е.  $U_1$  дает  $Z_{11}$ ,  $U_2$  дает  $Z_{12}$ , и  $U_0$  дает  $Z_{10}$  (индексы 1, 2, 0 обозначают соответственно прямую, обратную и нулевую последовательности).

Из рис. 1 видно, что на обоих концах разомкнутой линии имеются повышенные уровни напряжения на частоте, соответствующей половине длине волны. Кривая, соответствующая 25-й гармонике, наглядно иллюстрирует свойства стоячей волны, когда минимумы и максимумы чередуются с интервалами в четверть длины волны. Для каждой конкретной частоты наличие в точке линии пикового напряжения означает, что в точке, отдаленной на четверть длины волны, существует пик тока той же частоты (рис. 1, б).

Распространение гармоник меняется, если линию замкнуть накоротко на приемном конце (рис. 2).

Из-за короткого замыкания на конце линии возникает большой ток. Резонансный максимум должен уменьшаться с ростом частоты [1], однако такого явления не возникает для случая, изображенного на рис. 2, а. Это связано с тем, что точки кривых, соответствующие гармоническим частотам и резонансам, не точно совпадают с этими частотами.

Распространение составляющих нулевой последовательности в большей степени, чем прямой последовательности, дает необходимую информацию о возможном влиянии гармоник на близлежащие коммуникационные системы.

Присутствие токов нулевой последовательности в линии, соединенной с преобразовательным мостом, вызвано асимметрией либо эле-

ментов преобразователя на стороне переменного тока, либо элементов самой линии.

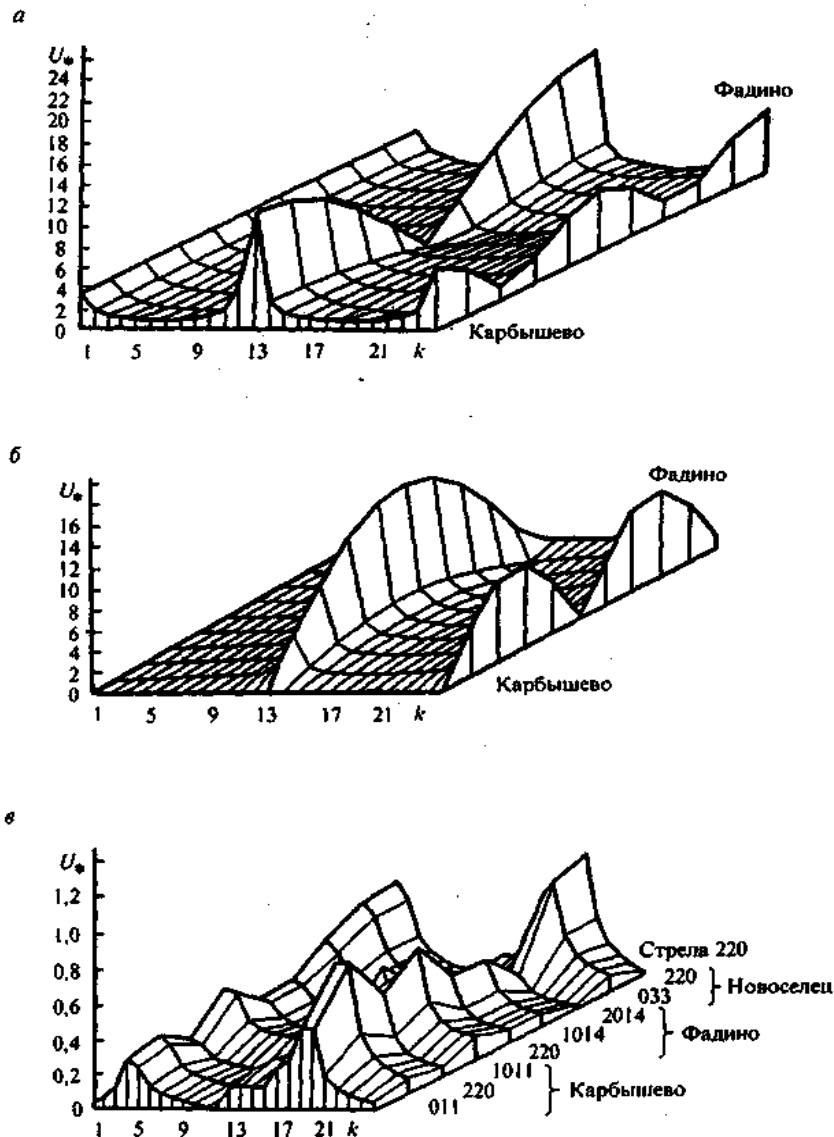


Рис.1. Зависимость напряжения прямой последовательности от частоты: а) вдоль разомкнутой линии; б) вдоль разомкнутой линии при генерации единичного тока прямой последовательности; в) на всех шинах системы

На рис. 2,а положение максимального тока прямой последовательности совпадает с максимумом тока нулевой последовательности (рис. 2, в), а наибольшее значение тока, равное примерно 10 % от входного тока прямой последовательности, было зафиксировано для 19-й гармоники на короткозамкнутом конце линии. Однако уровни токов нулевой последовательности малы (сравните масштабы шкал графиков для прямой и нулевой последовательностей).

В рассматриваемом гармоническом анализе, использующем однофазные модели прямой последовательности [1], считается, что линия электропередачи имеет одну резонансную частоту. Однако использование трехфазного алгоритма для моделирования несимметричной линии показало, что резонансные частоты фаз различаются между собой. В приведенном случае разброс частот составил примерно 6 Гц.

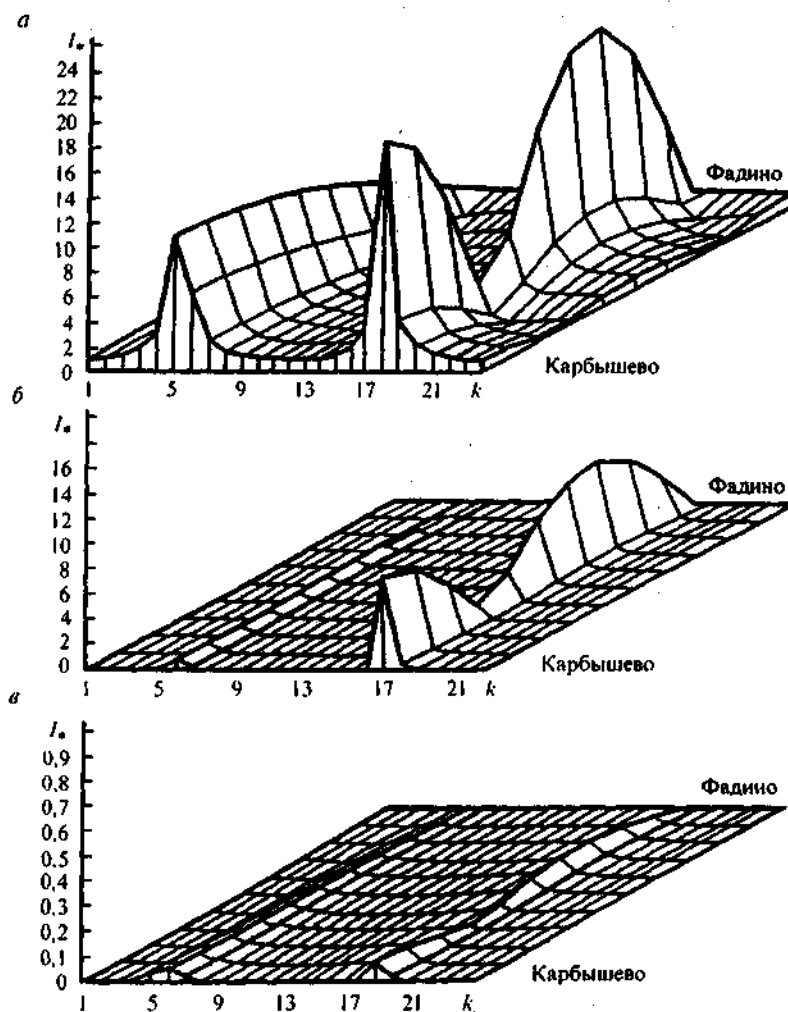


Рис. 2. Токи различных последовательностей вдоль короткозамкнутой линии при генерации единичного тока прямой последовательности: а) ток прямой последовательности; б) ток обратной последовательности; в) ток нулевой последовательности

Различие амплитуд резонансных частот (вплоть до 30 %) трех фаз частично объясняет проявление проблем, связанных с корреляцией однофазного моделирования и измерений в физической сети. Результаты ясно показывают, что гармоники в линиях несимметричны и имеют трехфазную природу.

Нормальная транспозиция линии на трех участках одинаковой длины с целью симметрирования линии на основной частоте может оказать существенное влияние на гармонических частотах. Например, моделирование транспозиции рассматриваемой линии дает результаты, которые показывают, что кривые напряжения имеют два резонансных пика на расстоянии 40 Гц друг от друга для половины длины волны (620 и 625 Гц для фаз С и А соответственно).

Выполненные исследования и проведенный анализ показали возможность моделирования

распространения электромагнитных колебаний вдоль многопроводных линий тягового электроснабжения, которые позволяют определять не только токи и напряжения в любой заданной точке многопроводной линии, но и одновременно наведенные напряжения в смежной линии. Всё это позволяет с высокой степенью точности проводить обоснование электромагнитной совместимости тяговой сети и линий продольного электроснабжения с коммуникациями связи и цепями железнодорожной автоматики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. П. Бадер. Электромагнитная совместимость. Учебник для вузов. М.: Транспорт, 2002. – 640 с.

ANDRZEJ BIAŁOŃ, ARTUR DŁUŹNIEWSKI, ŁUKASZ JOHN  
(RAILWAY INSTITUTE, POLAND)

## METHODOLOGY AND PROBLEMS DURING TESTING ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF ROLLING STOCK

*Представив д.ф.-м.н., професор Гаврилюк В.І.*

### 1. LEGAL CONDITIONALITY OF RAILROAD TRAIN RESEARCH

The range of certification railway rolling stock includes electromagnetic compatibility research. They result from EMC 2004/108/WE European directive registrations. This directive replaced directive 89/336/EEC and its major task was to standardized regulations concerning electromagnetic compatibility in Member States to the European Union. The new directive had been published on 31<sup>st</sup> of January 2004, however it had been in force on 20 of July, 2007. Its scope includes devices, stationary and mobile installation systems, terminal equipment, which can be a source of electromagnetic disturbances, if its actions have influence on generating electromagnetic disturbances. The directive regulations define the rules to launch or bring in for use the new devices and fundamental procedures conformity control and marking of conformity signed by CE.

The railway rolling stock electromagnetic compatibility research also has to be done according to valid normative documents, which are harmonized with directive 2004/108/WE. The harmonized standards disclose required concerning immunity and emission.

In immunity emission case the harmonized standards disclose required frequency range in which the research should be done, legal emission level and specify the research methodology.

The standards which are harmonized with directive 2004/108/WE in range immunity disclose variety environmental immunity, which railroad train should be exposed and the sharpness of attempts exposing and also method of its simulation.

Both case have defined course of work for object during the time of certification research and criteria of conformity assessment which help during the evaluation of the research results.

The electromagnetic compatibility research of railway rolling stock are very important not because of possibility occurred wrong effect on device interlocking, which can influenced on security, but also

can influenced on device useful in public system. It is connected with railway rolling stock influence range, where more often public objects are situated including detached houses and huge shopping center full of electronic systems and device. For example: Hauptbahnhof Railway Station in Berlin or Wileński Railway Station in Warsaw.

### 2. METHODOLOGY OF MEASUREMENTS

The railway rolling stock electromagnetic compatibility research are realized according to revealed methodology and valid normative requirement including above-mentioned standards:

**EN 55011** Industrial, scientific and medical equipment – Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement

**EN 50121-1** Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 1: General

**EN 50121-2** Railway applications – Electromagnetic compatibility - Part 2: Emission of the whole railway system to the outsider world

**EN 50121-3-1** Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3- 1: Rolling stock – Train and complete vehicle

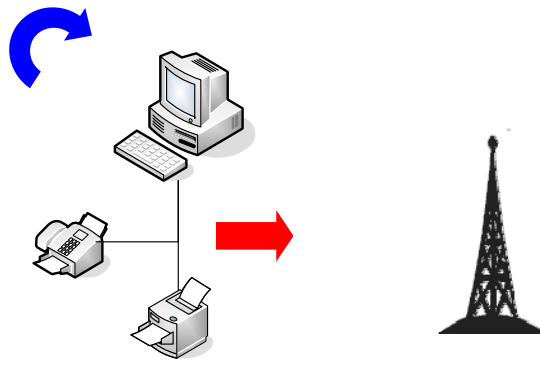
**EN 50121-3-2** Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3-2: Rolling stock – Apparatus

This standards has defined compatibility as an ability electric or electronic device to correct work in given electromagnetic environment and to do not emitted electromagnetic filed which could disturb correct work of other device which are working order in this environment.

The electromagnetic compatibility research can be considered in two aspects:

emission is defined as a system or device influence because of electromagnetic waves influenced on the other system or device situated in the nearest electromagnetic environment

immunity is defined as a system or device work ability without getting worse quality of action in a place, where occur electromagnetic disturbances.



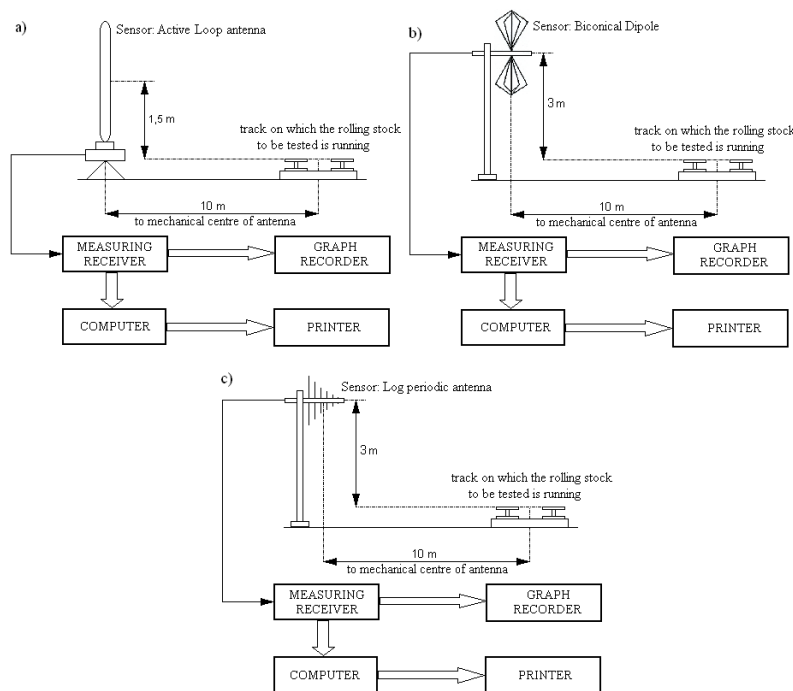
Pic.1. Electromagnetic emissions and immunity of equipment and systems

The railway rolling stock research of electromagnetic immunity normative registration reveal lack of necessity of research. That norm includes [5] requirement immunity to level 20V/m in range frequency from 0,15 MHz to 2 GHz. On the assumption that in complete vehicle devices are installed as a whole, sufficiently immunity on condition that plan EMC was prepared and implemented, and was taken into account border values included in this norm.

The research of emission of electromagnetic disturbances railroad train are made for emission disturbances of radiation and conduction.

The emission of radiation disturbances is a disturbance send as a electromagnetic waves. On account of specificity devices electric traction (high voltage and high consumption of current), measurement of the level of radiation disturbance emission are made as a measurement of filed amplification 10 m away from rail axel. On account of wide range of frequency the measurement of radiation disturbances railroad train should be made by the 3 types of antennas, which is illustrated in 2. From now on recommendation included in that norm [4] allow to make a measurement with 2 antennas (active loop and log periodic)

### 2.1. The measurement of emission radiation disturbances



Pic.2. Antennas required for measuring radiated disturbance electromagnetic emission:

The measurement of emission radiation disturbances are made in 9 kHz ÷ 1 GHz with nine

range division according to registrations in norm [4]

9 kHz ÷ 59 kHz - measurement of magnetic field strength component disturbances using the loop antenna,

50 kHz ÷ 150 kHz - measurement of magnetic field strength component disturbances using the loop antenna,

150 kHz ÷ 1,15 MHz - measurement of magnetic field strength component disturbances using the loop antenna,

1 MHz ÷ 11 MHz - measurement of magnetic field strength component disturbances using the loop antenna,

10 MHz ÷ 20 MHz - measurement of magnetic field strength component disturbances using the loop antenna,

20 MHz ÷ 30 MHz - measurement of magnetic field strength component disturbances using the loop antenna,

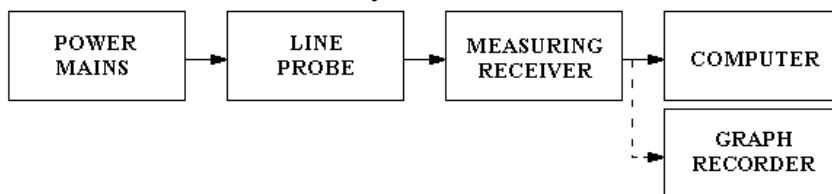
30 MHz ÷ 230 MHz - measuring the vertical component of electric field strength using the biconical antenna,

200 MHz ÷ 500 MHz - measuring the vertical component of electric field intensity using the log periodic antenna,

500 MHz ÷ 1 GHz - measuring the vertical component of electric field intensity using the log periodic antenna.

Antenna should be situated 10 m axel from rail axel. During the measurement magnetic storage in 9 kHz ÷ 30 MHz the aerial should be situated from 1 to 2 m high, counted above the track head level, but for 30 MHz ÷ 1 GHz the antenna should be situated 3m high.

Before we started measurement the object which is researched, we should check if on every



Pic.3. Scheme of measuring the emission of conducted disturbances

### 3. THE EXAMPLARY RESULTS OF MEASUREMENT

#### 3.1. The results of the measurement of emission radiation disturbances

In the picture 4 was shown exemplary results of the measurement of emission radiation disturbances which originated from electric traction set

measurement frequency which we choose included in required frequency range, we won't find excessive outside wireless-electric disturbances (electromagnetic background). The level of outside disturbances which are making background should be smaller at least 6 dB from permissible levels. In case of statement that outside emission (electromagnetic background) has too high level for given frequency or for range frequency, this range is not evaluated.

#### 2.2 The measurement of radioelectric disturbances in deck net supply low voltage

The emission of conduct disturbances is defined as a electromagnetic disturbances spread out in length electric line or in length line of signal transmission. The measurement of emission of conduct disturbances in on-board the low voltage network are made during stop according to methodology registration in norm [6]

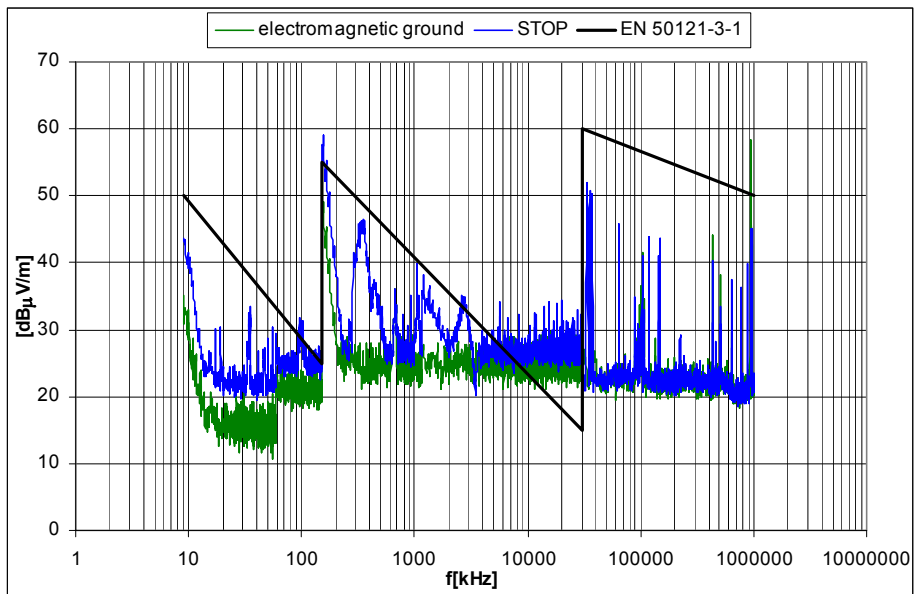
According to norm recommendation the measurement of asymmetrical storage voltage of disturbances radioelectric are made from 9 kHz to 30 MHz frequency range.

The measurement emission of conduct disturbances are made on every ports the low voltage network low voltage A.C and D.C. The line probe measurement is used to measurement of conduct disturbances. The concentric cable connects the receiver measurement and line probe measurement, which is illustrated in picture 3. The measurement are made during stop with maximum load. The gained results are compare to the earliest measurement background for the power mains.

EMU 22 WE type, but we took account of requirement of outside disturbances which are included in norm.

The measurement of emission radiation disturbances were made in this circumstances:

- during stop – the picture 4
- during driving – the picture 5



Rys.4. Disorders of radiated emissions of railway rolling stock during the stop

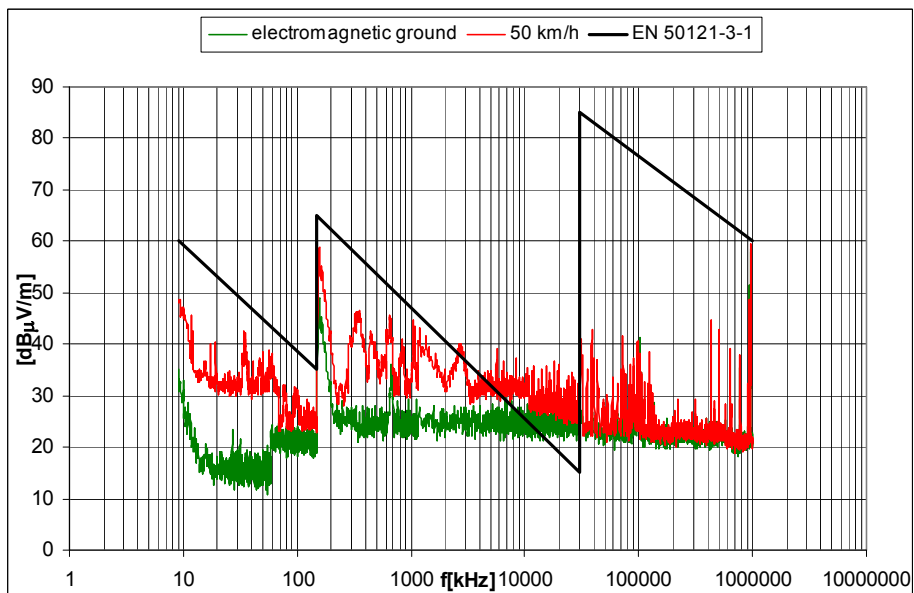
During stop the train was situated straight the antennas and all deck devices which could be the potential source of radio-electric disturbances were switched on.

During drive the measurement was made in measurement position and locomotive's speed was 50km/h  $\pm$  10km/h and the power trial was 30 %.

In the pictures 4 and 5 we put the results of the measurement of emission radiation disturbances which originated from EMU 22WE during stop

and also during drive ahead of antennas with required speed.

The results of measurement depends on outside disturbances and it should be 6dB of permissible value. According to norm's recommendation [4] on frequency where the level of permissible value were exceed, the measurement result weren't evaluated because of high level of outside disturbances. In the case of the test vehicle, such situation was in the frequency range 10 MHz – 200 MHz.



Pic.5. Disorders of the rolling stock radiated emissions during drive

### 3.2. The results of measurement radioelectric disturbances in low voltage power circuit in electric locomotive

The railway mobile objects like a locomotive, we can treat as a specific and complex electromagnetic environment. The device which work in this

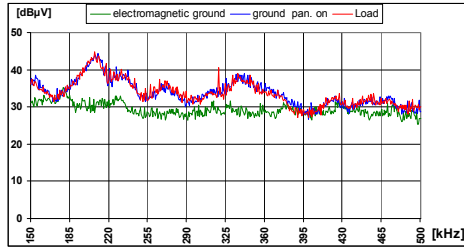
environment shouldn't have an influence on each other, and especially electric devices powered 3 kV voltage shouldn't bring in excessive levels of radio-electric disturbances to a deck circuit which sends a signal in electric deck devices.

In circuit of high voltage occur potential sources of radio-electric disturbances: traction engines, fan engine powered direct current generator, contacts line and group contactor, contact current collector with trolley wire.

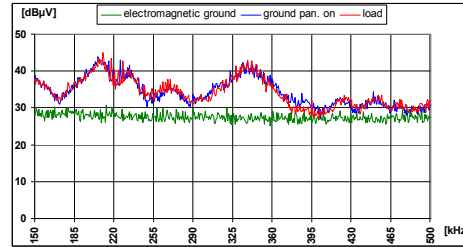
In circuit of low voltage occur relevant source of radio-electric disturbances and electromagnetic

impulse disturbances: direct current generator, low voltage contacts contactor, engines of auxiliary drive.

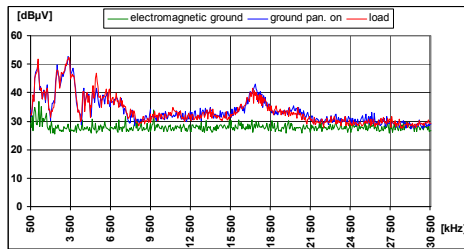
In the picture 6 are presented the results of the measurement which were made.



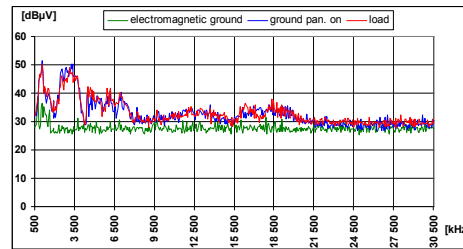
Disorders of the port +24V DC conducted emission



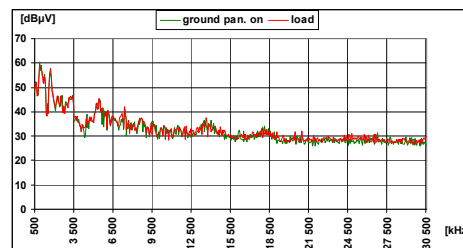
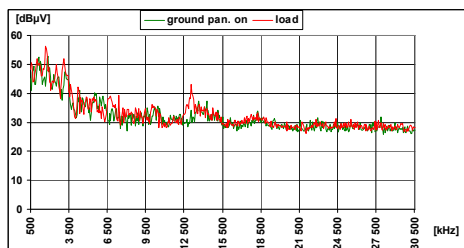
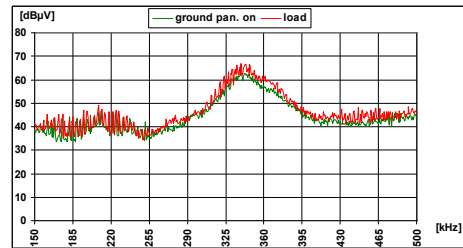
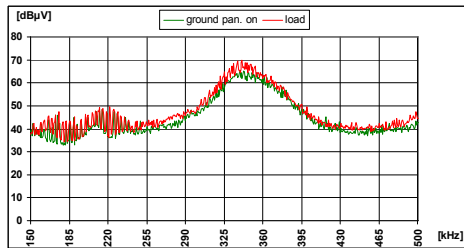
Disorders of the port -24V DC conducted emission



Disorders of the port L 230V AC conducted emission



Disorders of the port N 230V AC conducted emission



Pic.6. Disorders conducted emission 22WE EMU

In the picture 6 we presented the results of the measurement emission conduction disturbances. The measurement was made in on-board the low voltage network 24 V DC and port 230 V AC electric multiple unit type 22 WE. During measurement's we don't certify any exceed permissible level of the emission conduction disturbances.

#### 4. UNCERTAINTY OF MEASUREMENT IN RADIO-ELECTRIC EMISSION DISTURBANCES RESEARCH.

The measurement of emission radiated and conducted disturbances is always a measurement mistake ensuing from measurement specificity and precision test equipment which was used. Correct evaluation of this results forced to estimate the uncertainty of measurement. The most important el-

ement of conformity and nonconformity with permissible level of radioelectric disturbance is to take into account the uncertainty of measurement of test equipment. Uncertainty of the test equipment which was used to radioelectric disturbances research, should be evaluated by included all dimensions named in the norm EN 55016-4-2 [7].

The standard uncertainty  $u(x_i)$  in dB and indicator of sensitivity  $c_i$  is evaluated for estimation  $x_i$  every dimension. The standard uncertainty  $u(y_i)$  for estimation  $u$  dimension should be calculated by using dependence (1).

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_i c_i^2 \cdot u^2(x_i)} \quad (1)$$

where:  $u_c(y)$  – (composed) standard uncertainty of the size  $y$ ;  $c_i$  – sensitivity coefficient;  $u(x_i)$  – standard uncertainty estimation  $x_i$ .

The widen uncertainty which was brought in by measurement equipment  $U_{lab}$  calculates using dependence (2).

$$U_{lab} = 2 \cdot u_c(y) \quad (2)$$

where:  $U_{lab}$  – expanded uncertainty of the size  $y$ ;  $u_c(y)$  – (composed) standard uncertainty of the size  $y$ .

According to requirement of Polish Centre for Accreditation documents the estimated uncertainty of measurement radioelectric radiated and conducted disturbances should be announced in report of test.

## CONCLUSIONS

The results of the measurements of radioelectric disturbances radiated by train had shown, that the offence of permissible level, occurs in 10 MHz – 200 MHz. We take outside disturbances level of disturbances into account which occurred measuring range we can suppose that the offences of permissible level doesn't occur.

The measurements result has definitive influence on condition of electromagnetic environment, where significant levels of radioelectric disturbances occurs and they originate from unidentified sources. The examination which had been conducted, showed that tested EMU, didn't exceed permissible levels.

Before choosing measuring range the condition of electromagnetic environment should be examined very precisely. If there are any excessive levels outside sources it's source and time of the highest levels of emission have to be examine.

If the research is examine on measuring range which was chosen incorrectly and by inexperienced staff the interpretation of the measurements results may be wrong.

During the conducted electromagnetic disturbances researches occurred in the deck net supply low voltage, significant space between measured level of disturbances and permissible norm requirement's were noticed.

The analysis which had been made, had shown that in train EMU 22 WE higher level of generated, conducted disturbances occurred in on-board the low voltage network 230V AC power supply port.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Dłużniewski, Ł. John, - *Report No. LA/42/10 Test EMC electromagnetic disturbances radiated and conducted by the EMU 22 WE*,
- [2] EN 50121-1: *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 1: General*,
- [3] EN 50121-2: *Railway applications – Electromagnetic compatibility - Part 2: Emission of the whole railway system to the outsider world*,
- [4] EN 50121-3-1: *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3- 1: Rolling stock – Train and complete vehicle*,
- [5] EN 50121-3-2: *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 3-2: Rolling stock – Apparatus*,
- [6] EN 55011: *Industrial, scientific and medical equipment – Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement*,
- [7] EN 55016-4-2: *Specification of radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling – Uncertainty in EMC measurements (CISPR 16-4-2)*.

**Keywords:** Electromagnetic compatibility, emission of electromagnetic disturbance, rolling stock

**Ключевые слова :** Электромагнитная совместимость, излучения электромагнитных помех подвижным составом.

**Ключові слова :** Электромагнітна сумісність, створення електромагнітних завад електрорухомим складом.

## ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ДІЛЯНЦІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ ЗМІННОГО СТРУМУ

*Представив д.т.н., професор Гетьман Г.К.*

Головним напрямом розвитку залізниць України є модернізація їх інфраструктури, виходячи з необхідності реалізації швидкісного руху.

Відомо, що впровадження швидкісного руху потребує модернізації системи тягового електропостачання, оскільки висуваються більш жорсткі вимоги до режиму напруги в тяговій мережі та значно зростають тягові потужності.

Значно зменшити капітальні затрати на збільшення встановленої потужності тягових підстанцій можна за рахунок оптимального режиму компенсації реактивної потужності.

Компенсація реактивної потужності в системах тягового електропостачання застосовується для поліпшення режиму напруги, зменшення втрат електроенергії та зменшення плати за перетікання реактивної потужності [1, 2].

Особливістю тягового навантаження є його різка зміна в часі. Тобто реактивна потужність компенсуючого пристрою має постійно змінюватись відповідним чином з метою уникнення режимів перекомпенсації. Такі пристрої встановлюються на тягових підстанціях у розподільчих установках 27,5 кВ. Крім того, наявність в системі тягового електропостачання вищих гармонік напруг і струмів суттєво знижує надійність роботи зазначених пристроїв.

Для компенсації реактивної потужності з початку електрифікації на тягових підстанціях змінного струму було передбачене застосування пристроїв поперечної компенсації – набір батарей конденсаторів послідовно з реактором. Наявність реактора в контурі компенсації зменшує генеровану реактивну потужність, проте унеможливує виникнення резонансних явищ та при певному налаштуванні на частоту, близьку до резонансної, сприяє зменшенню обраної гармонійної складової (найчастіше третьої).

Недоліком таких пристроїв є надлишкова генерація реактивної потужності у разі зменшення чи відсутності тягового навантаження. В такому випадку енергопостачальними компаніями додатково нараховуються штрафні

санкції за надлишкове перетікання реактивної потужності.

З 2008 року розпочато впровадження автоматичних плавно регульованих пристроїв компенсації реактивної потужності. Конструктивно ці пристрої доповнюються контуром декомпенсації, який складається з реактора та силового напівпровідникового регулятора змінного струму. Основна складова капітальних затрат припадає саме на пристрій автоматичного регулювання та сучасні напівпровідникові пристрої на струми до 300 А та напругу 27,5 кВ.

Для виконання розрахунків навантажень ділянки тягового електропостачання необхідно створити математичну модель, використовуючи дані реалізацій потужностей на тягу поїздів, напруги на головних приєднаннях тягової підстанції, паспортні дані трансформаторів – для визначення струмів фідерів тягових підстанцій, напруги у вузлах приєднання контактної мережі до тягових підстанцій, втрати електроенергії в елементах мережі. Змінюючи місце підмикання контуру декомпенсації, можна визначити оптимальний режим роботи компенсуючих пристроїв.

Щоб врахувати взаємозв'язок систем зовнішнього та тягового електропостачання, необхідно скласти схему заміщення використовуючи трансформаторні зв'язки. Складемо таку схему електрифікованої ділянки наступним чином (рис. 1)

Особливість заступних схем електричних мереж з трансформаціями полягає в тому, що однією з вершин кожної вітки, що має зв'язок через трансформацію з будь-якою іншою віткою, є нейтраль (рис. 2). Тому кожен трансформатор приводить до збільшення на одиницю кількість незалежних контурів порівняно зі схемою, приведеною до однієї базисної напруги. Тим часом це не збільшує порядок матриці, для якої потрібне визначення оберненої в процесі розв'язання задачі, бо порядок цієї матриці менший від числа незалежних контурів схеми на кількість трансформацій [3].

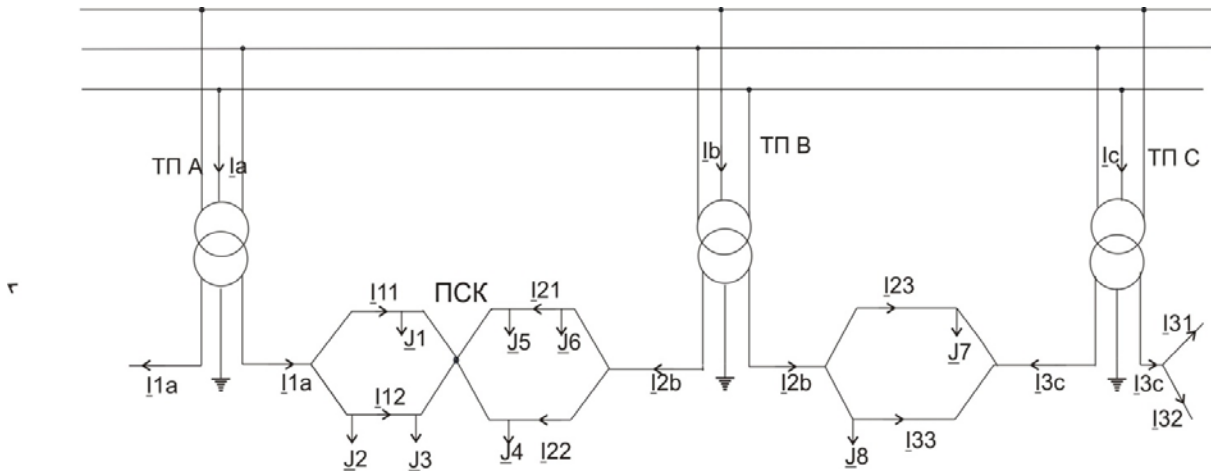


Рис. 1. Схема замощення ділянки тягового електропостачання

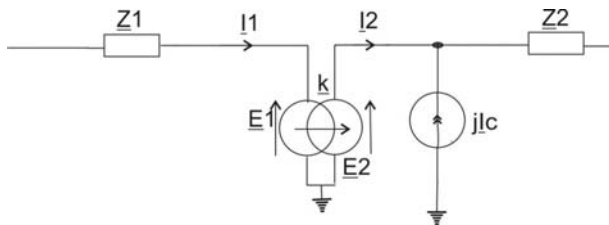


Рис. 2. Заступна схема частини кола з трансформацією та пристроєм компенсації

Якщо позначити ЕРС трансформації  $\underline{E}_\tau$ , то узагальнене рівняння стану для заступної схеми з трансформатором можна записати у вигляді:

$$\begin{bmatrix} M \\ N \cdot \underline{Z}_B \end{bmatrix} \cdot [\underline{I}] = \begin{bmatrix} \underline{J} \\ \underline{E}_K \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де матриця контурних ЕРС

$$[\underline{E}_K] = N([\underline{E}] + [\underline{E}_\tau]);$$

$[\underline{E}_\tau]$  - матриця ЕРС трансформацій;

$[\underline{E}]$  - матриця інших ЕРС у вітках схеми

Перенумеруємо вітки схеми так, щоб останні  $\tau$  віток дерева виявились зв'язаними з першими  $\tau$  хордами через трансформації. Тоді матриця комплексних коефіцієнтів трансформації виявиться діагональною:

$$[\underline{k}] = \begin{bmatrix} \underline{k}_1 & \dots & \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ & \dots & \underline{k}_n \end{bmatrix}$$

В результаті розв'язку системи (1) з урахуванням трансформацій напруги матриця напруг  $[\underline{U}_\Delta]$  на границях віток відносно базисного вузла визначається через матриці вузлових операторів  $[\underline{Z}]$  і коефіцієнтів  $[\underline{D}]$  розподілення ЕРС

$$[\underline{U}_\Delta] = [\underline{Z}] \times [\underline{J}] + [\underline{D}] \times [\underline{E}], \quad (2)$$

де в матрицю  $[\underline{E}]$  повинні входити ЕРС, що включені в схему, окрім ЕРС трансформації.

На відмінність від випадків розрахунку схем однієї номінальної напруги (в тому числі й приведених до однієї номінальної напруги) тут у матрицю  $[\underline{J}]$  входять фактичні значення задаючих струмів, які обчислюються за фактичних значень напруги на всіх ділянках мережі.

Вектор струмів у вітках визначається матричною залежністю

$$[\underline{I}] = [\underline{Z}_B]^{-1} \times [\underline{M}]^T \times [\underline{U}_\Delta], \quad (3)$$

де  $[\underline{Z}_B]^{-1} = [\underline{Y}_B]$  - діагональна матриця провідностей кола;  $[\underline{M}]^T$  - транспонована матриця інцидентій у вузлах.

Далі визначаються втрати потужностей на ділянках і в трансформаторах.

Отримані розв'язки в результаті складають вхідні дані для компенсації реактивної потужності.

Відома формула [4] визначення потужності компенсуючого пристрою (КП)

$$Q_K = P(tg\varphi_1 - tg\varphi_2), \quad (4)$$

де  $Q_K$  - реактивна потужність КП, квар;  
 $P$  - активна потужність споживача, кВт;

$(tg\varphi_1 - tg\varphi_2)$  - коефіцієнти реактивної потужності до компенсації та після неї, відповідно.

Одним з впливаючих параметрів в задачі оптимізації є струм компенсуючого пристрою  $I_C$ . Цей струм обмежується по величині регулювання встановленою потужністю компенсатора  $Q_K$ , для визначення якої можна скористатись відомою формулою (4).

Ефективність застосування різних типів компенсації з тими чи іншими параметрами доцільно оцінювати за різницею втрат потужностей в елементах системи електропостачання електрифікованої ділянки, тобто за економією електроенергії після впровадження компенсації.

Окрім оптимізації закону керування компенсуючими пристроями, можна визначити оптимальне їх розташування, вважаючи в першому наближенні тягову мережу еквівалентною лінією з питомим опором  $\rho$ , площею поперечного перерізу  $F(x)$  та розподілом реактивної потужності споживачів  $Q(x)$ .

Для визначення оптимального розташування компенсуючого пристрою в такій еквівалентній лінії за умови мінімуму втрат потужності споживачів, які підімкнені до даної магістралі, розглянемо втрати потужності в залежності від реактивного навантаження [5] в лінії довжиною  $L$

$$\Delta P = \frac{\rho}{U^2} \int_0^L \frac{Q^2(x)}{F(x)} dx,$$

де  $\rho$  - питомий опір лінії, Ом/км;  $U$  - живляча напруга, кВ;  $Q(x)$  та  $F(x)$  - реактивна потужність, квар, і переріз лінії в точці з абсцисою  $x$ .

При встановленні БК потужністю  $Q_K$  на відстані  $l$  від початку лінії втрата потужності становить

$$\Delta P_K = \frac{\rho}{U^2} \left[ \int_0^l \frac{(Q(x) - Q_K)^2}{F(x)} dx + \int_0^l \frac{Q^2(x)}{F(x)} dx \right]$$

В результаті компенсації реактивної потужності втрати в магістралі зменшаться на величину

$$\delta P = \Delta P - \Delta P_K = \frac{\rho Q_K}{U^2} \int_0^l \frac{2Q(x) - Q_K}{F(x)} dx.$$

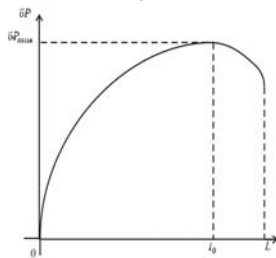


Рис. 3. Визначення оптимального місця розташування КП на ділянці

Знаходячи екстремум функції  $\delta P(l)$  за цим рівнянням, визначимо оптимальну точку підмикання БК  $l_0$ ,  $Q(l_0) = \frac{Q_K}{2}$ .

Тобто, батарею конденсаторів необхідно підмикати в точці магістралі, де реактивне навантаження дорівнює половині потужності БК.

Дослідження показують [1], що реалізація заходів з компенсації реактивної потужності може дати відчутний економічний ефект. При встановленні лише одного пристрою групової компенсації можна скоротити втрати електроенергії в мережі близько 20 %.

## Висновки

1. Перешкодою до впровадження швидкісного руху на залізницях України може бути забезпечення нормального рівня напруги, резерв у підвищенні якої передбачається в оптимізації режимів компенсації реактивної потужності на ділянках електрифікованих залізниць.

2. Досить зручним методом у пошуку оптимального режиму роботи компенсуючого пристрою є матричний метод аналізу електричних кіл з врахуванням трансформації.

3. Оптимальне розташування пристроїв компенсації реактивної потужності доцільно визначати за цільовою функцією, яка визначає зміну втрат активної потужності після впровадження компенсації.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бондар, О.І. Оцінка впливу компенсації реактивної потужності на втрати електроенергії в електромережі залізничного вузла [Текст] / О.І.Бондар, І.Л.Бондар // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В.Лазаряна – 2009. – Вип.27 – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С.51-55.

2. Кузнецов, В.Г. Оценка потерь электроэнергии в тяговой сети магистральных железных дорог [Текст] / В.Г.Кузнецов, Р.С.Мыцко, Д.А.Босый // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В.Лазаряна. – 2006. – Вип.12. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2006. – С.38-40.

3. Мельников, Н.А. Матричный метод анализа электрических цепей [Текст] / Н.А. Мельников. – М. – Л.: Энергия, 1966–216 с.

4. Бородулин, Б.М. Конденсаторные установки электрифицированных железных дорог [Текст] / Б.М.Бородулин, Л.А.Герман., Г.А.Николаев. – М.: Транспорт, 1983. – 183 с.

5. Жежеленко, И.В. Реактивная мощность в системах электроснабжения: учебное пособие [Текст] / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко. – К.: УМК ВО, 1989. – 108 с.

## СНИЖЕНИЕ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПРИ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОВОЗА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА В РЕЖИМЕ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Повышение электромагнитной совместимости электровозов переменного тока с системами тягового и внешнего электроснабжения является важной проблемой на электрифицированных железных дорогах России. Этой проблеме уделяется особое внимание. Одним из направлений решения данной задачи является снижение негативного влияния выпрямительно-инверторного преобразователя (ВИП) электровоза, работающего в режимах тяги и рекуперативного торможения, на качество электроэнергии в контактной сети электроснабжающей организацией. Природа этого явления заключается в том, что распределенная индуктивность и распределенная емкость контактной сети вызывают переходные колебательные процессы в системе «контактная сеть – электровоз». В результате таких переходных процессов возникают высокочастотные свободные колебания напряжения на токоприемнике электровоза с частотами 750 – 1950 Гц.

В статье делается попытка объяснить причины возникновения и предложить путь снижения амплитуды свободных колебаний напряжения в сети (повышение качества электроэнергии) при ра-

боте электровоза в режиме рекуперативного торможения, когда ВИП работает инвертором. В этом случае на тиристоры плеч инвертора подаются импульсы управления  $\beta$ .

Свободные колебания напряжения на токоприемнике (рис.1) вызваны процессами перехода инвертора электровоза из режима проводимости в режим коммутации в момент подачи управляющих импульсов  $\beta$  на тиристоры (возникают коммутационные колебания) и обратным переходом в режим проводимости после окончания коммутации в момент  $\beta - \gamma$  (возникают послекоммутационные колебания).

Возникновение высокочастотных колебаний напряжения на токоприемнике электровоза в процессе сетевой коммутации объясняется тем, что во время подачи управляющих импульсов с углом  $\beta$  на тиристоры инвертора происходит резкое снижение эквивалентного индуктивного сопротивления электровоза. Снижение эквивалентного сопротивления происходит из-за возникновения тока короткого замыкания, протекающего через коммутирующие тиристорные плечи инвертора и вторичные обмотки силового трансформатора электровоза.

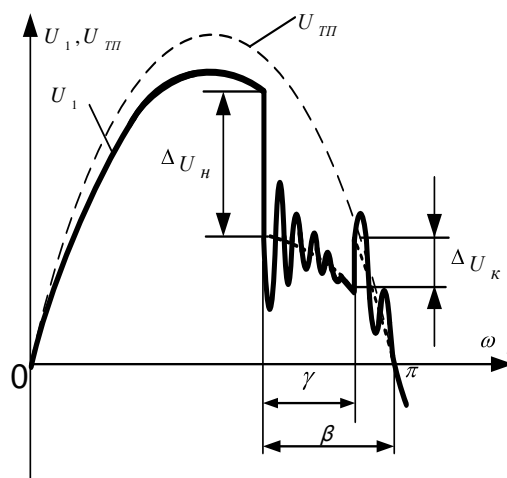


Рис. 1. Свободные колебания напряжения на токоприемнике электровоза  
( $U_{ТП}$  – напряжение на шинах тяговой подстанции,  $U_1$  – напряжение на токоприемнике электровоза)

Результатом этого является скачок принужденной составляющей напряжения контактной сети на токоприемнике на величину  $\Delta U_H$  (рис.1) и возникновение высокочастотных коммутационных колебаний этого напряжения. Причиной появления этих колебаний является возникновение колебательного контура, который образован результирующей индуктивностью электровоза и контактной сети, а также емкостью контактной подвески относительно земли.

После окончания сетевой коммутации в момент перехода инвертора в режим проводимости (угол  $\beta - \gamma$ ) возникают подобные им послекоммутационные колебания. Данные колебания появляются вследствие увеличения принужденной составляющей напряжения контактной сети на токоприемнике на величину  $\Delta U_K$  из-за увеличения эквивалентного индуктивного сопротивления электровоза.

Одним из путей снижения амплитуд коммутационных и послекоммутационных колебаний напряжения на токоприемнике электровоза является воздействие на протекание токов в преобразователе в процессе сетевой коммутации инвертора электровоза с помощью другого алгоритма управления. Как уже было сказано выше причина возникновения свободных коле-

баний напряжения на токоприемнике электровоза – резкий скачок в сторону снижения принужденной составляющей напряжения в контактной сети, являющийся результатом короткого замыкания тока через коммутирующие тиристорные плечи инвертора электровоза и части секций вторичной обмотки тягового трансформатора электровоза.

Особенностью предлагаемого алгоритма управления инвертором является постепенное снижение принужденной составляющей напряжения на токоприемнике электровоза за счет поэтапного снижения его эквивалентного индуктивного сопротивления. На рис. 2 показана форма кривой напряжения в первичной обмотке тягового трансформатора электровоза, на которой видно, что принужденная составляющая напряжения снижается не так резко как при типовом алгоритме (см. на рис.1 величину  $\Delta U_H$ ), а постепенно в два этапа: сначала на величину  $\Delta U_{H1}$ , а затем на  $\Delta U_{H2}$ . Это позволяет снизить амплитуду свободных коммутационных колебаний, что приводит к снижению коэффициента искажения синусоидальности напряжения в первичной обмотке тягового трансформатора электровоза, а значит и в контактной сети.

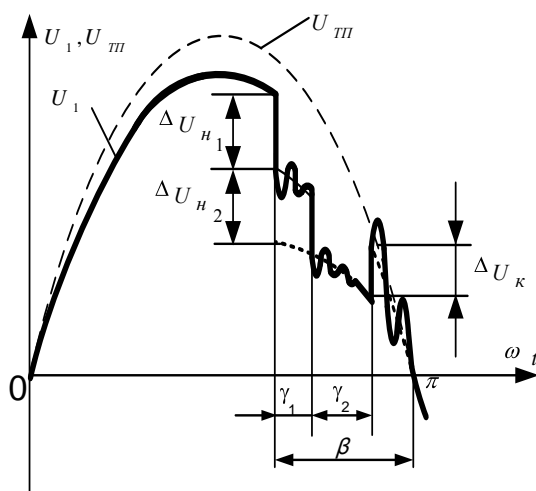


Рис. 2. Форма напряжения на токоприемнике электровоза при новом способе управления ( $U_{ТП}$  - напряжение на шинах тяговой подстанции,  $U_1$  - напряжение на токоприемнике электровоза)

Проведенное математическое моделирование процессов работы инвертора электровоза в номинальном режиме на 4-ой зоне регулирования с типовым и предлагаемым алгоритмами управления показало, что коэффициент искажения синусоидальности напряжения сети с предлагаемым алгоритмом управления уменьшился на 21% по сравнению с типовым, что дает достаточно хорошее повышение качества электроэнергии в тя-

говой сети при работе электровоза в рекуперативном торможении.

**Ключевые слова:** электровоз переменного тока, рекуперативное торможение, выпрямительно-инверторный преобразователь, инвертор, свободные коммутационные и послекоммутационные колебания напряжения, качество электроэнергии в контактной сети, коэффициент искажения синусоидальности напряжения.

## К ВОПРОСУ ОБ ИНТЕГРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ЗАДАЧИ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ СХЕМЫ СЕКЦИОНИРОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ В АРМЕ УЧАСТКОВОГО ЭНЕРГОДИСПЕТЧЕРА

*Представив д.т.н., профессор Гетьман Г.К.*

### Введение

В настоящее время на сети железных дорог Украины широко распространены и находятся в эксплуатации «АРМы участкового энергодиспетчера», в которых практически не автоматизирован процесс принятия решений в нештатных, вынужденных и аварийных режимах системы тягового электроснабжения. Однако именно в этих режимах в условиях дефицита времени, энергодиспетчеру особенно важно принимать правильное, близкое к оптимальному решение, которое позволит минимизировать возникшие задержки в движении поездов.

Автоматизация процесса принятия решений энергодиспетчером в условиях возрастающих в настоящее время скоростей движения поездов и требований к оперативности и надежности энергодиспетчерского управления является актуальной задачей.

Анализ процесса оперативного управления в [1] показывает, что поставленная задача может быть эффективно решена путем интеграции АРМа энергодиспетчера с технологией и системами искусственного интеллекта и создания в конечном итоге интеллектуального АРМа участкового энергодиспетчера. Значительная роль в эффективности использования всех возможностей существующего АРМа энергодиспетчера и методов и систем искусственного интеллекта играет выбор способа интеграции в зависимости от применяемых технологий искусственного интеллекта и решаемых ими задач.

В настоящей работе рассматривается выбор способа интеграции компонентов экспертной системы для решения задачи текущего контроля состояния схемы секционирования контактной сети тягового электроснабжения изложенной в [2] и АРМа участкового энергодиспетчера информационно-управляющей системы ДИУС «ИРА» (разработчик ЧНПФ «ВИНК» г. Днепропетровск).

### Рассматриваемая предметная область АРМа энергодиспетчера

АРМ энергодиспетчера визуализирует в полном объеме утвержденную схему секционирования контактной сети, отображая положение коммутационных аппаратов с телемеханическим и ручным управлением в реальном времени. Контактная сеть одного энергодиспетчерского круга может содержать сотни коммутационных аппаратов и электрических секций. Например, схема секционирования контактной сети Верховцевского круга Криворожской дистанции электроснабжения Приднепровской ж.д. содержит 528 коммутационных аппаратов, при этом вся контактная сеть состоит из 428 электрических секций.

После получения всей телесигнализации с контролируемых пунктов и считывания базы данных положения ручных объектов, АРМ энергодиспетчер содержит полную информацию о состоянии коммутационных аппаратов. Состояние коммутационных аппаратов в совокупности с их функциональным назначением представляет собой информационное поле, для анализа которого с целью принятия решения, необходимы соответствующие знания. Задачи такого класса могут быть эффективно решены с помощью методов экспертных систем. Используемые методы, инструментальные средства, разработанные компоненты экспертной системы и ее прототип в [2] позволили решить поставленную задачу в реальном времени.

### Требование к принципу интеграции

Анализ процесса оперативного управления в [1] показал, что специфика энергодиспетчерского управления, функций телеуправления и телеконтроля на железнодорожном транспорте определяют следующие основные требования к принципу интеграции АРМа энергодиспетчера с компонентами экспертной системы:

– работа в реальном времени. Система должна успевать обрабатывать поступающую

телесигнализацию и визуализировать состояние схемы контактной сети. Система должна дать ответ на запрос пользователя за время не более одной секунды;

– преемственность. Принципы работы с АРМом энергодиспетчера не должны существенно измениться. Энергодиспетчер не должен чувствовать дискомфорт в работе АРМа после интеграции с компонентами экспертной системы, все функции должны сохраниться, а новые возможности должны быть представлены как расширение;

– простота интеграции. Интеграция АРМа ЭЧЦ с компонентами экспертной системы не должна требовать пересмотра всей архитектуры АРМа и больших затрат времени;

– низкая информационная нагрузка на энергодиспетчера. Энергодиспетчер не должен воспринимать экспертную систему как еще одну программу, которую нужно изучать и понимать принципы ее работы. Работа экспертной системы должна оставаться «за кадром», а реализуемые ею функции должны быть представлены как новые функции АРМа ЭЧЦ;

– экспертная система должна иметь минимальный диалог с энергодиспетчером.

Рассмотрение возможных принципов интеграции и проведения сравнительного анализа

В качестве инструмента для разработки компонентов экспертной системы был выбран CLIPS (C Language Integrated Production System).

Язык CLIPS разрабатывался с высокими требованиями к быстродействию и простой интеграцией. Язык разработан с использованием языка С, является свободно распространяемым и поставляется с исходными текстами. Компоненты CLIPS можно интегрировать с существующими системами несколькими путями:

- путем объединения исходных текстов, если объединяемые программы написаны на языке С;

- путем использования скомпилированных модулей в виде объектных файлов;

- путем использования динамически подключаемой библиотеки.

Применение первых двух способов позволяет получить доступ к низкоуровневым функциям CLIPS, иметь максимальное быстродействие и гибкость.

Применение динамически подключаемой библиотеки лишает возможности использовать все средства CLIPS, ограничивает быстродействие, но существенно упрощает интеграцию и переход на новые версии CLIPS. Программисту не требуется знать особенности реализации функций, он использует только верхний, прикладной уровень языка.

Поскольку АРМ ЭЧЦ написан с использованием IDE Delphi, то объединение исходных текстов исключается.

Была предпринята попытка присоединения объектных файлов, но компилятор находил ошибки, требовалось разбираться во внутренней структуре компонентов CLIPS, что занимает много времени. Поскольку интеграция модулей, имеющих различные способы передачи параметров в функции может приводить к возникновению различных ошибок. На обнаружение ошибок требуется также много времени, поэтому решено было отказаться от использования скомпилированных объектных файлов.

#### Описание способа стыковки

Для интеграции был выбран способ, использующий библиотеку CLIPSWin32.dll. АРМ Энергодиспетчера передает факты в экспертную систему, вызывая функции библиотеки.

Функции предоставляемые библиотекой представлены в табл. 1.

Таблица 1

Функции, предоставляемые библиотекой CLIPSWin32.dll

Функция	Назначение
CreateEnvironment	Создает окружение экспертной системы и инициализирует ее.
DestroyEnvironment	Освобождает память, занятую экспертной системой.
Eval	Выполняет выражение на языке CLIPS
Load	Загрузка базы знаний
Run	Запуск

Из функций, предоставляемых библиотекой следует отметить функцию eval. Эта функция позволяет выполнить любую команду языка CLIPS. Поэтому, после инициализации оболоч-

ки CLIPS все взаимодействие с экспертной системой будет осуществляться с помощью функции Eval. Такой подход был выбран не случайно. Одним из требований при разработке

CLIPS было простая интеграция с внешними системами. Такой подход избавляет программиста от необходимости знать внутреннюю организацию CLIPS на уровне его функций и структур данных. Это особенно важно для тех, кто использует другие языки программирования, чем С. Взаимодействие с экспертной системой будет состоять из следующих этапов:

1. Загрузка библиотеки CLIPSWin32.dll.
2. Инициализация окружения CLIPS (CreateEnvironment).
3. Загрузка базы знаний (Load).
4. Загрузка фактов.
5. Непосредственная работа с экспертной системой: запуск машины логического вывода (Run), выполнение команд и функций CLIPS через вызов библиотечной функции Eval.
6. Освобождение памяти после завершения работы с экспертной системой (DestroyEnvironment).

### **Обмен данными**

Работа экспертной системы всегда начинается с загрузки фактов. В CLIPS имеется два способа загрузки фактов:

- загрузка из файла. Сначала подготавливаются факты в формате языка CLIPS, сохраняются в файл на диск, затем дается команда загрузить факты из файла. Достоинства данного способа: простота. Недостаток: использование файловой системы на внешнем носителе может активизировать работу антивируса и различных файловых мониторов.

- выполнение команды assert. Каждый подготовленный факт форматируется для использования командой assert. Затем выполняется команда. Достоинство – передача фактов без использования файловой системы. Недостаток: дополнительные вычислительные расходы при форматировании фактов.

На прототипе экспертной системы были проверены оба способа. В экспертную систему передавались две порции фактов: состояние коммутационных аппаратов (537 фактов – 36986 байт) и данные по секциям (432 факта – 18537 байт).

Первый способ загрузки фактов занял 21 мс, а второй 24 мс. Разница времени незначительна, но так как работа с файловой системой непредсказуема из-за возможной работы в среде

операционной системы различных служб, то желательно избегать работу с файлами.

Работа экспертной системы заключается в обработке фактов и выдаче заключения. Библиотека CLIPS не предоставляет функций для получения заключения напрямую. CLIPS может вывести заключение в файл в текстовом виде. А приложение, использующее CLIPS может получить заключение, прочитав этот файл.

Что бы избежать использования файловой системы можно воспользоваться специальным механизмом MailSlot операционной системы Windows ®. Этот механизм позволяет приложению создать псевдофайл, размещенный в оперативной памяти, а экспертная система может записывать данные в этот файл. Порядок обмена с экспертной системой следующий:

1. Приложение создает MailSlot с определенным именем с помощью функции WinAPI CreateMailSlot.
2. Приложение передает управление экспертной системе, вызвав команду Eval или Run.
3. Экспертная система сохраняет заключения в файл MailSlot по его имени и возвращает управление приложению.
4. Приложение прочитывает псевдофайл MailSlot.

Описанные способы взаимодействия экспертных систем с прикладными программами позволяют легко добиться цели – получение интеллектуального ПО на основе технологий экспертных систем.

### **Апробация результатов работы**

Соответствие требованиям к интегрированной системе было проверено на прототипе системы с реальными данными нескольких энергодиспетчерских участков. Результаты проверки представлены в табл. 2. Тестирование проводилось на ПЭВМ с процессором Intel Core 2 Duo 2,2 ГГц.

Полученные в ходе испытаний временные характеристики удовлетворяют требованиям энергодиспетчерского управления по быстродействию.

Прототип экспертной системы был передан на объект внедрения для апробации в реальных условиях. По оценкам энергодиспетчера прототип работал без замедлений и ошибок.

Результаты тестирования временных характеристик прототипа интегрированной системы

Участок электроснабжения	Количество выполненных правил при инициализации	Время обработки всех фактов при инициализации, с	Время выполнения запроса «отключенные секции», с
Верховцевский круг Криворожская дистанция (528 КА, 428 секций)	8161	0.042	0.031
Основа (1197 КА, 1066 секций)	36447	0.215	0.143
Запорожье Юг (339 КА, 367 секций)	6928	0.031	0.020

### Выводы

Экспертные системы являются в настоящее время достаточно развивающимся направлением компьютерных технологий, реализующие иной подход к решению задач, отличающийся от программ, написанных на алгоритмическом языке. Есть сферы человеческой деятельности, где уже применяются традиционные автоматизированные системы. Такие системы в основном автоматизируют выполнение рутинных операций и автоматизируют процессы, но не могут принимать сложные решения. Использование технологий экспертных систем позволит увеличить оперативность и качество принимаемых человеком решений, однако стоит вопрос, как совместить уже существующие автоматизированные системы с компонентами экспертных систем.

В статье предложен способ интеграции конкретного работающего АРМа железнодорожного энергодиспетчера с компонентами экспертной системы, созданными [2] с помощью инструмента CLIPS. Прототип интегрированной экспертной системы для решения задачи теку-

щего контроля состояния схемы контактной сети, был успешно апробирован в реальных условиях на Верховцевском круге Криворожской дистанции электроснабжения Приднепровской ж.д. Способ интеграции АРМа энергодиспетчера зависит от выбранной технологии искусственного интеллекта, инструментария решаемых задач.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В. В. Оперативное управление участком энергоснабжения электрифицированных железных дорог [Текст] / В.В. Иванов, Е.Е. Бакеев -М.:Транспорт, 1986. – 132 с.
2. Войтиков Д. В. Автоматизация оперативного контроля состояния схемы контактной сети тягового электроснабжения железной дороги на основе методов экспертных систем // V Международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и в образовании». – Днепропетровск: ДИИТ, 2011.

## ВИЗНАЧЕННЯ ТРАЄКТОРІЇ РОЗТАШУВАННЯ КОНТАКТНОГО ПРОВОДУ ДЛЯ ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ КОНТАКТНОЇ ПІДВІСКИ ЗІ СТРУМОПРИЙМАЧЕМ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

*Представив д.т.н., професор Гетьман Г.К.*

### Вступ

Починаючи з 1928 р. в Центральному науково-дослідному інституті транспортної електротехніки, групою контактної мережі були проведені перші роботи по взаємодії контактної мережі з електрорухомим складом під час струмознімання. З 1935 р. лабораторією контактної мережі ВНДІЗТу велись науково-дослідні роботи по розробці та дослідженню елементів взаємодії в процесі струмознімання та покращенню якості струмознімання. На базі цієї лабораторії створені стенди для триботехнічних випробувань контактних матеріалів, елементів системи струмознімання [1].

В Омському державному університеті шляхів сполучення з 1977 р. виконуються експериментальні дослідження пристроїв струмознімання електричного транспорту, спрямовані на розробку нових і модернізацію існуючих пристроїв. Розроблена і випробувана методика експериментальних досліджень зносу контактних пар пристроїв струмознімання реалізується лабораторним комплексом, що включає спеціалізовані установки зворотного-поступального, обертового й ударного типів, аеродинамічну установку, дискову машину тертя для експрес-випробувань, а також електроустановку для навантажувальних випробувань [2].

Подібного роду випробувальна лабораторія створюється і в ДНУЗТ фахівцями кафедри «Електропостачання залізниць». Лабораторна база дозволить досліджувати та вивчати процеси струмознімання в умовах, максимально наближених до реальних. При цьому імітуються різні типи підвісок, стріли прогину, зигзаги, коливання, удари в широкому швидкісному діапазоні. Конструктивні особливості лабораторного комплексу дозволять проводити весь спектр струмових та динамічних досліджень пристроїв струмознімання в умовах, які відповідають реальним режимам експлуатації пристроїв. Методика випробувань включатиме варіювання наступних параметрів для кожної пари контактних матеріалів: контактного натиску;

відносного положення контактуючих поверхонь; швидкості відносного руху елементів пари тертя; режимів руху; сили електричного струму і полярності (для постійного струму); параметрів навколишнього середовища (температури, вологості, запиленості) та ін. [3].

В даний час існує велика кількість різноманітних конструкцій контактних підвісок, призначених для експлуатації в умовах швидкісного руху. Параметри і конструктивні особливості цих пристроїв варіюються в широких межах. Вплив цих параметрів на динаміку взаємодії контактної підвіски і струмоприймача виражено неявно і має безліч нюансів, що і спонукає до більш детального розгляду цього питання.

Взаємодія струмоприймача й контактної підвіски являє собою складний механічний процес, тому що взаємодіюча система має нескінченне число ступенів свободи та в обох взаємодіючих пристроях залежно від положення точки контакту й умов її переміщення (траєкторії) змінюються жорсткість, маса, тертя. Зміна контактного натискання в залежності від положення точки контакту призводить до нерівномірного зносу контактуючих елементів. Вивчення цього процесу ведуть як експериментальними, так і теоретичними методами, залучаючи складний математичний апарат, фізичні моделі та використовуючи програмне забезпечення моделювання процесів взаємодії в системі струмознімання.

Для вивчення та дослідження такого складного процесу пропонується застосування фізичної моделі – кільцевого стенду.

### Постановка задачі

Для визначення траєкторії розташування контактного проводу на кільцевому стенді необхідно виконати таке перетворення над рівнянням, яке описує його положення всередині прогону в лінійних декартових координатах, щоб отримати замкнену криву, деяке математичне місце точок відносно початку координат, кожна з точок якого відповідає конкретній точці всередині прогону. Слід зазначити, що в декартових координатах вихідна функція має бути пе-

ріодичною на інтервалі  $T$ , бо інакше, виконуючи описане перетворення, отримаємо незамкнену криву, застосування якої в якості траєкторії на кільцевому стенду не досить зручне.

Для визначення математичного апарату цього переходу розглянемо найпростіший випадок. Нехай положення контактної провуду всередині прогону визначається рівнянням  $y=1$ . Тоді шукане математичне місце точок являє собою одиничне коло, яке в полярній системі координат описується рівнянням  $\rho=1$ . Звідси випливає, що перехід слід виконувати за допомогою заміни змінної  $y \rightarrow \rho$ . Крім того, слід зазначити, що в полярній системі координат аргумент  $\varphi$  набуває значень в межах  $0..2\pi$ , і при виконанні шуканого перетворення необхідно абсцисі  $x$  увести перевідний коефіцієнт  $T/2\pi$ , тобто для аргументу необхідно виконати заміну змінної вигляду  $x \rightarrow \varphi \cdot T/2\pi$ .

Застосуємо отримане перетворення для визначення трьох можливих розташувань контактної провуду всередині прогону для напівкосій підвіски на прямій ділянці колії, вертикально-хордової підвіски на кривих та ромбовидної підвіски збільшеної вітростійкості [4-6].

Для напівкосій контактної підвіски характерне зигзагоподібне розташування контактної провуду (рис. 1), яке аналітично в загальному вигляді опишемо рівнянням

$$y(x) = \begin{cases} k \cdot x + b, & 0 \leq x \leq \ell; \\ -k \cdot x + b, & \ell \leq x \leq 2\ell. \end{cases} \quad (1)$$

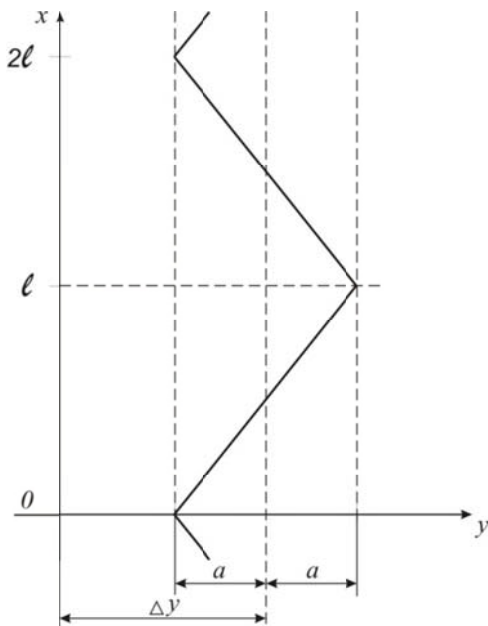


Рис. 1. Схема розташування контактної провуду напівкосій підвіски в прогоні

Інтервал періодичності в даному випадку складатиме подвоєну довжину прогону  $T=2\ell$ , де  $\ell$  – довжина прогону.

Розглянемо граничні умови розташування контактної провуду та отримаємо рівняння в загальному вигляді з використанням параметрів:  $\Delta y$  – зміщення вісі струмоприймача відносно осі обертання кільцевого стенду;  $a$  – зигзаг контактної провуду. Для першого рівняння у виразі (1) матимемо

$$\begin{aligned} x=0: & y = \Delta y - a, \quad k \cdot 0 + b = \Delta y - a, \quad b = \Delta y - a; \\ x=\ell: & y = \Delta y + a, \quad k \cdot \ell + b = \Delta y + a, \\ k = & \frac{\Delta y + a - b}{\ell} = \frac{\Delta y + a - (\Delta y - a)}{\ell} = \frac{2a}{\ell}. \end{aligned}$$

Застосуємо граничні умови для другого рівняння системи (1)

$$\begin{aligned} x=\ell: & y = \Delta y + a, \quad -k \cdot \ell + b = \Delta y + a, \\ & b = \Delta y + a + k \cdot \ell; \end{aligned}$$

$$x=2\ell: y = \Delta y - a, \quad -k \cdot 2\ell + b = \Delta y - a.$$

Знайдемо різницю останніх двох рівнянь, отримаємо

$$\begin{aligned} \Delta y + a + k \cdot \ell - (\Delta y - a + 2k \cdot \ell) &= 0, \\ 2a - k \cdot \ell &= 0, \quad k = \frac{2a}{\ell}. \end{aligned}$$

Підставляючи отриманий коефіцієнт в одне з попередніх рівнянь, знайдемо

$$b = \Delta y + a + \frac{2a}{\ell} \cdot \ell = \Delta y + 3a;$$

або, що теж саме

$$b = \Delta y - a + 2 \cdot \frac{2a}{\ell} \cdot \ell = \Delta y + 3a.$$

Таким чином, рівняння (1) з врахуванням вищезазначеного матиме вигляд

$$y(x) = \begin{cases} \frac{2a}{\ell} \cdot x + \Delta y - a, & 0 \leq x \leq \ell; \\ -\frac{2a}{\ell} \cdot x + \Delta y + 3a, & \ell \leq x \leq 2\ell. \end{cases} \quad (2)$$

Застосуємо до рівняння (2) запропоноване перетворення та враховуючи, що  $T=2\ell$  матимемо

$$\rho(\varphi) = \begin{cases} \frac{2a}{\ell} \cdot \frac{2\ell}{2\pi} \cdot \varphi + \Delta y - a, & 0 \leq \varphi \leq \pi; \\ -\frac{2a}{\ell} \cdot \frac{2\ell}{2\pi} \cdot \varphi + \Delta y + 3a, & \pi \leq \varphi \leq 2\pi, \end{cases}$$

спрощуючи який, отримаємо

$$\rho(\varphi) = \begin{cases} \frac{2a}{\pi} \cdot \varphi + \Delta y - a, & 0 \leq \varphi \leq \pi; \\ -\frac{2a}{\pi} \cdot \varphi + \Delta y + 3a, & \pi \leq \varphi \leq 2\pi. \end{cases} \quad (3)$$

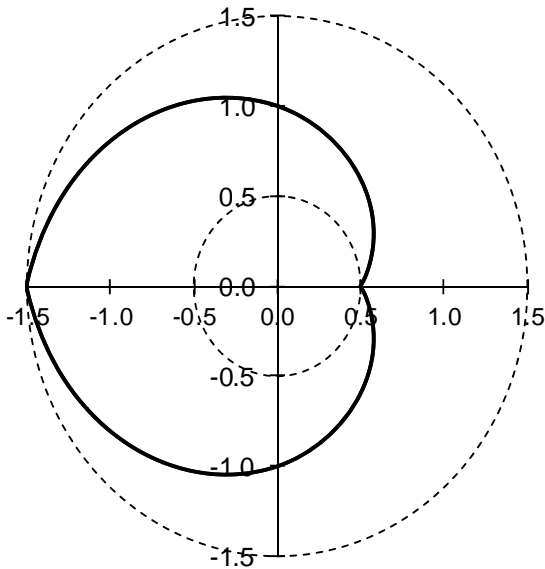


Рис. 2. Траєкторія розташування контактної провуду для моделювання взаємодії з напівкосю підвіскою

На кривих ділянках колії має місце параболічне розташування контактної провуду (рис. 3). Визначимо в загальному вигляді траєкторію розташування контактної провуду в кривих відносно випрямленої осі струмоприймача на основі квадратичного рівняння.

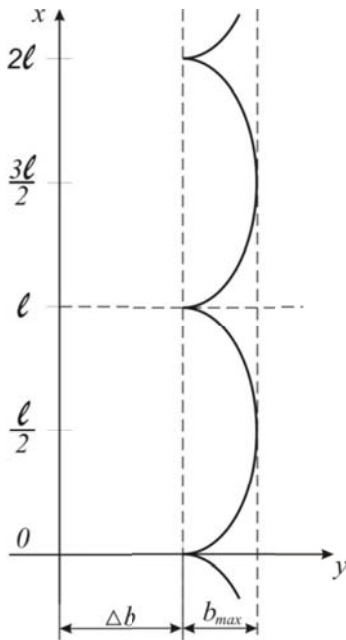


Рис. 3. Схема розташування контактної провуду вертикально-хордової підвіски в прогоні

В загальному вигляді

$$y(x) = A \cdot x^2 + B \cdot x + C. \quad (4)$$

Використаємо наступні параметри:  $b_{\max}$  – максимальний винос контактної провуду в середині прогону;  $\Delta b$  – зміщення найближчої

точки контактної провуду відносно осі обертання кільцевого стелу.

Інтервал періодичності для вертикально-хордової підвіски дорівнюватиме довжині прогону, тобто  $T = \ell$ .

Розглянемо граничні умови та визначимо коефіцієнти рівняння (4),

$$x = 0 : y = \Delta b, \quad A \cdot 0^2 + B \cdot 0 + C = \Delta b, \quad C = \Delta b.$$

$$x = \ell/2 : y = b_{\max}, \quad A \cdot \frac{\ell^2}{4} + B \cdot \frac{\ell}{2} + \Delta b = b_{\max},$$

$$A \cdot \ell^2 + B \cdot 2\ell = 4(b_{\max} - \Delta b).$$

$$x = \ell : y = \Delta b, \quad A \cdot \ell^2 + B \cdot \ell + \Delta b = \Delta b,$$

$$A \cdot \ell^2 + B \cdot \ell = 0.$$

Розв'язуючи систему двох останніх рівнянь, отримаємо

$$\begin{cases} A \cdot \ell^2 + B \cdot 2\ell = 4(b_{\max} - \Delta b); \\ A \cdot \ell^2 + B \cdot \ell = 0; \end{cases}$$

$$\begin{cases} A \cdot \ell^2 - 2A \cdot \ell^2 = 4(b_{\max} - \Delta b); \\ B = -A \cdot \ell; \end{cases}$$

$$\begin{cases} A = -\frac{4(b_{\max} - \Delta b)}{\ell^2}; \\ B = \frac{4(b_{\max} - \Delta b)}{\ell}. \end{cases}$$

Остаточно, рівняння (4) перепишемо наступним чином

$$y(x) = -\frac{4(b_{\max} - \Delta b)}{\ell^2} \cdot x^2 + \frac{4(b_{\max} - \Delta b)}{\ell} \cdot x + \Delta b. \quad (5)$$

Виконаємо необхідні заміни змінних та отримаємо шукане рівняння в полярних координатах, для спрощення запису при цьому  $b_{\max} - \Delta b$  замінимо на  $b$ :

$$\rho(\varphi) = -\frac{4(b_{\max} - \Delta b)}{\ell^2} \cdot \varphi^2 \frac{\ell^2}{4\pi^2} + \frac{4(b_{\max} - \Delta b)}{\ell} \cdot \varphi \frac{\ell}{2\pi} + \Delta b;$$

$$\rho(\varphi) = -\frac{b}{\pi^2} \cdot \varphi^2 + \frac{2b}{\pi} \cdot \varphi + \Delta b. \quad (6)$$

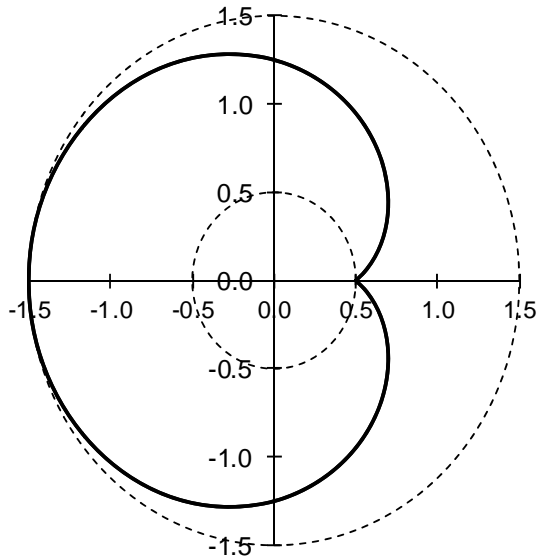


Рис. 4. Траєкторія розташування контактної провуду для моделювання взаємодії з вертикально-хордовою підвіскою

На складних ділянках електрифікованих залізниць, де спостерігаються значні вітрові навантаження, застосовується ромбовидна контактна підвіска підвищеної вітростійкості (рис. 5). Місця скріплення розташовують приблизно на  $1/4$  довжини прогону від кожної опори. Для збільшення вітростійкості такої підвіски намагаються дотримуватись мінімально можливої відстані між контактними проводами всередині прогону та максимальних зигзагів в опорному вузлі.

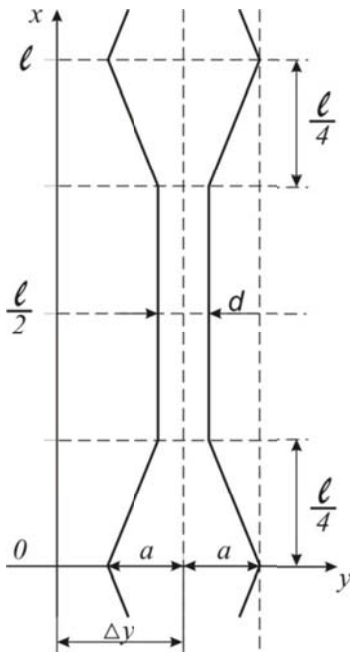


Рис. 5. Схема розташування контактних провідів ромбовидної підвіски в прогоні

В загальному вигляді рівняння розташування одного контактної провуду запишемо у вигляді

$$y(x) = \begin{cases} k \cdot x + b, & 0 \leq x \leq \ell/4; \\ c, & \ell/4 \leq x \leq 3\ell/4; \\ -k \cdot x + b, & 3\ell/4 \leq x \leq \ell. \end{cases} \quad (7)$$

Розглянемо граничні умови та визначимо значення сталих коефіцієнтів

$$x = 0 : y = \Delta y - a, \quad k \cdot 0 + b = \Delta y - a, \quad b = \Delta y - a.$$

$$x = \ell/4 : y = \Delta y - d/2,$$

$$k \cdot \ell/4 + \Delta y - a = \Delta y - d/2, \quad k = \frac{4a - 2d}{\ell},$$

$$c = \Delta y - d/2.$$

$$x = 3\ell/4 : y = \Delta y - d/2, \quad -k \cdot 3\ell/4 + b = \Delta y - d/2;$$

$$x = \ell : y = \Delta y - a, \quad -k \cdot \ell + b = \Delta y - a.$$

Визначимо різницю останніх двох рівнянь, отримаємо

$$-k \cdot 3\ell/4 + b - (-k \cdot \ell + b) = \Delta y - d/2 - \Delta y + a;$$

$$k \cdot \ell/4 = -d/2 + a; \quad k = \frac{4a - 2d}{\ell}.$$

Підставляючи отриманий коефіцієнт в одне з попередніх рівнянь, знайдемо

$$b = \Delta y - d/2 + 3/4(4a - 2d) =$$

$$\Delta y - d/2 + 3a - 3/2d = \Delta y + 3a - 2d.$$

Таким чином, остаточно рівняння (7) для першого контактної провуду перепишемо у вигляді

$$y_1(x) = \begin{cases} \frac{4a - 2d}{\ell} \cdot x + \Delta y - a, & 0 \leq x \leq \ell/4; \\ \Delta y - d/2, & \ell/4 \leq x \leq 3\ell/4; \\ -\frac{4a - 2d}{\ell} \cdot x + \Delta y + 3a - 2d, & 3\ell/4 \leq x \leq \ell. \end{cases} \quad (8)$$

Оскільки контактні провуду розташовані симетрично, запишемо рівняння розташування другого контактної провуду користуючись властивістю симетрії, тобто

$$y_2(x) = \begin{cases} -\frac{4a - 2d}{\ell} \cdot x + \Delta y + a, & 0 \leq x \leq \ell/4; \\ \Delta y + d/2, & \ell/4 \leq x \leq 3\ell/4; \\ \frac{4a - 2d}{\ell} \cdot x + \Delta y - 3a + 2d, & 3\ell/4 \leq x \leq \ell. \end{cases} \quad (9)$$

Використовуючи зазначене перетворення до систем рівнянь (8)-(9), отримаємо шукане рів-

няння траєкторії контактних проводів для кільцевого стенду в полярних координатах

$$\rho_1(\varphi) = \begin{cases} \frac{2a-d}{\pi} \cdot \varphi + \Delta y - a, & 0 \leq \varphi \leq \pi/2; \\ \Delta y - d/2, & \pi/2 \leq \varphi \leq 3\pi/2; \\ -\frac{2a-d}{\pi} \cdot \varphi + \Delta y + 3a - 2d, & 3\pi/2 \leq \varphi \leq 2\pi; \end{cases} \quad (10)$$

$$\rho_2(\varphi) = \begin{cases} -\frac{2a-d}{\pi} \cdot \varphi + \Delta y + a, & 0 \leq \varphi \leq \pi/2; \\ \Delta y + d/2, & \pi/2 \leq \varphi \leq 3\pi/2; \\ \frac{2a-d}{\pi} \cdot \varphi + \Delta y - 3a + 2d, & 3\pi/2 \leq \varphi \leq 2\pi. \end{cases} \quad (11)$$

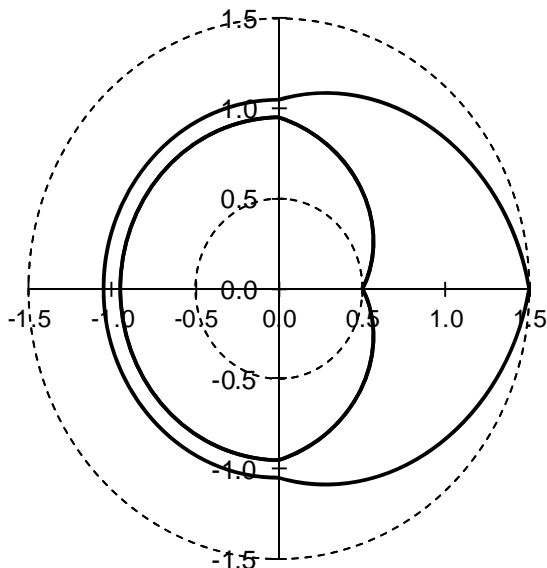


Рис. 6. Траєкторія розташування контактних проводів для моделювання взаємодії з ромбовидною підвіскою

Аналізуючи отримані рівняння траєкторії в полярних координатах (3), (6), (10)-(11), бачимо, що до жодного з них не входить такий параметр, як довжина прогону  $\ell$ , яка безпосередньо визначає необхідну довжину контактних проводів для монтування на кільцевому стенді. Цю довжину можливо визначити на підставі відомої формули визначення довжини кривої в полярних координатах

$$L = \int_a^b \sqrt{\rho^2 + \left(\frac{d\rho}{d\varphi}\right)^2} d\varphi. \quad (12)$$

Застосуємо формулу (12) до кожної з розглянутих підвісок:

– для контактних проводів напівкосі підвіски

$$L_H = \int_0^\pi \sqrt{\left(\frac{2a}{\pi}\varphi + \Delta y - a\right)^2 + \frac{4a^2}{\pi^2}} d\varphi + \int_\pi^{2\pi} \sqrt{\left(-\frac{2a}{\pi}\varphi + \Delta y + 3a\right)^2 + \frac{4a^2}{\pi^2}} d\varphi; \quad (13)$$

$$L_H = \frac{2a}{\pi} \ln\left(\frac{a + \Delta y + d_1}{\Delta y - a + d_2}\right) + \frac{\pi}{2a} [(a + \Delta y)d_1 + (a - \Delta y)d_2], \quad (14)$$

де  $d_1 = \sqrt{\frac{4a^2}{\pi^2} + (a + \Delta y)^2}$ ,  $d_2 = \sqrt{\frac{4a^2}{\pi^2} + (a - \Delta y)^2}$ ;

використовуючи значення  $a = 0,5$  м,  $\Delta y = 1,0$  м, визначимо значення  $d_1$  та  $d_2$  і відповідну довжину контактних проводів напівкосі підвіски

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,5^2}{\pi^2} + (0,5 + 1)^2} = 1,533 \text{ м};$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,5^2}{\pi^2} + (0,5 - 1)^2} = 0,593 \text{ м};$$

$$L_H = \frac{2 \cdot 0,5}{\pi} \ln\left(\frac{0,5 + 1 + 1,533}{1 - 0,5 + 0,593}\right) + \frac{\pi}{2 \cdot 0,5} [(0,5 + 1)1,533 + (0,5 - 1)0,593] = 6,617 \text{ м}.$$

– для контактних проводів вертикально-хордової підвіски

$$L_{BX} = \int_0^{2\pi} \sqrt{\left(-\frac{b}{\pi^2}\varphi^2 + \frac{2b}{\pi}\varphi + \Delta b\right)^2 + \left(-\frac{2b}{\pi^2}\varphi + \frac{2b}{\pi}\right)^2} d\varphi, \quad (15)$$

оскільки в загальному вигляді досить складно отримати вираз для обчислення інтегралу такого вигляду, скористаємось чисельним методом вирішення виразу (12), для наступних значень параметрів  $\Delta b = 0,5$ ;  $b_{\max} = 1,5$ ;  $b = 1,0$  матимемо  $L_{BX} = 7,789$  м.

– для контактних проводів ромбовидної підвіски

$$L_{P1} = \int_0^{\pi/2} \sqrt{\left(\frac{2a-d}{\pi} \cdot \varphi + \Delta y - a\right)^2 + \frac{(2a-d)^2}{\pi^2}} d\varphi +$$

$$+ \int_{\pi/2}^{3\pi/2} \sqrt{(\Delta y - d/2)^2} d\varphi +$$

$$+ \int_{3\pi/2}^{2\pi} \sqrt{\left(-\frac{2a-d}{\pi} \cdot \varphi + 3a - 2d\right)^2 + \frac{(2a-d)^2}{\pi^2}} d\varphi,$$

$$L_{P2} = \int_0^{\pi/2} \sqrt{\left(-\frac{2a-d}{\pi} \cdot \varphi + \Delta y + a\right)^2 + \frac{(2a-d)^2}{\pi^2}} d\varphi +$$

$$+ \int_{\pi/2}^{3\pi/2} \sqrt{(\Delta y + d/2)^2} d\varphi +$$

$$+ \int_{3\pi/2}^{2\pi} \sqrt{\left(\frac{2a-d}{\pi} \cdot \varphi + \Delta y - 3a + 2d\right)^2 + \frac{(2a-d)^2}{\pi^2}} d\varphi;$$

аналогічно попередньому випадку, вираження

цих інтегралів в загальному вигляді досить громіздке, користуючись чисельним методом інтегрування за наступним параметрів  $a=0,5$  м;  $\Delta y=1,0$  м;  $d=0,1$  м, отримуємо  $L_{P1}=4,854$  м;  $L_{P2}=7,405$  м.

Відповідно до реальних розмірів кільцевого ственду визначимо необхідну довжину контакт-ного проводу для монтажу підвіски кожного типу і модельні довжини прогонів для співста-влення з реальними та подальшого визначення масштабного коефіцієнту фізичної моделі (табл. 1).

Таблиця 1

Довжини контактних проводів та прогонів

№	Тип контактної підвіски	Довжина контактного проводу, м	Кількість прогонів	Довжина одного прогону, м
1	Напівкоса	6,617	2	3,142
2	Вертикально-хордова	7,789	1	6,283
3	Ромбовидна	4,854 / 7,405	1	6,283

### Висновки

1. Траєкторію розташування контактного проводу для фізичної моделі взаємодії струмо-приймача з контактною підвіскою (кільцевого ственду) досить просто можна отримати в полярній системі координат заміною змінних у рівнянні розташування контактного проводу уз-довж ділянки  $y \rightarrow \rho$ ,  $x \rightarrow \varphi \cdot T/2\pi$ .

2. Рівняння траєкторії контактного проводу в полярній формі не містить параметру  $\ell$  – до-вжини прогону, тому визначення необхідної довжини контактного проводу для монтажу на кільцевому ственді слід визначати за допомогою спрямлення кривої в полярних координатах.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Подольский, В.И. Лаборатория контакт-ной сети ВНИИЖТ. Прошлое, настоящее, бу-дущее (к 80 летнему юбилею лаборатории) [Текст] / В.И. Подольский, Н.В.Миронос, П.Г. Тюрнин, М.В. Вязовой, Е.Э. Закиев // Вестник ВНИИЖТ. – 2008. - №1. – С. 3 – 5.

2. Сидоров, О.А. Совершенствование мето-дов испытаний контактних подвесок и токоп-риемников [Текст] / О.А. Сидоров, А.Н. Смер-дин // Железнодорожный транспорт. – 2010. – №11. – С. 72 – 74.

3. Сиченко, В.Г. Дослідження взаємодії струмоприймача та контактної мережі [Текст] / В.Г. Сиченко, В.Г. Мандич, О.М. Клак, О.В. Михайлов, О.Г. Маркевич, Р.М. Пилипишин // тез. докл. наук.-практ. конф. «Транселектро». – 2009. – С. 64 – 65.

4. Михеев, В.П. Контактные сети и линии электропередачи [Текст] / В.П. Михеев. – М.: Маршрут, 2003. – 416 с.

5. Фрайфельд, А. В. Устройство, сооруже-ние и эксплуатация контактной сети и воздушных линий [Текст] : учебник / А. В. Фрайфельд, Н. А. Бондарев, А. С. Марков. – М.: Транспорт, 1980. – 422 с.

6. Гельфанд, И. М. Метод координат [Текст] / И. М. Гельфанд, Е. Г. Глаголева, А.А. Кириллов. – М.: Наука, 1971. – 87 с.

## РЕАЛІЗАЦІЯ ДВОЗОННОГО ЗАХИСТУ ФІДЕРІВ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ 3,3 КВ НА МІКРОПРОЦЕСОРНОМУ КОМПЛЕКТІ

Представив д.т.н., професор Гетьман Г.К.

Побудова та реалізація захисту для тягової мережі постійного струму має специфічний характер. З недавніх часів у якості захисту фідерів 3,3 кВ почали використовувати мікропроцесорні комплекси, що мають в собі можливість налаштування величин уставок для різних типів захисту, витримки часу та ін.. Комплекти мікропроцесорних захистів встановлюються на кожний фідер живлячої мережі. При відсутності таких комплексів захист виконують звичайним способом, основними елементами якого є швидкодіючий вимикач (ШВ) та релієференційний шунт (РДШ).

Історично та технічно склалося так, що на фідерах з великими струмами з'явилася необхідність використання по два швидкодіючих вимикача (ШВ1 і ШВ2), які підключені послідовно. Для зменшення хибних відключень комутаційних апаратів на фідерах контактної мережі (КМ) використовують, так званий, двозонний струмовий захист. Реалізація такого захисту має такий принцип: на шунті, найближчого до живлячих шин ШВ1 зменшують пакет пластин, що перетворює вимикач на датчик максимальних струмів.

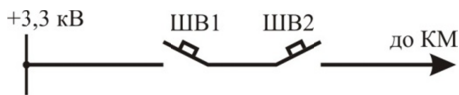


Рис. 1. Підключення швидкодіючих вимикачів

Уставку вибирають за умовами максимального струмового захисту (МТЗ):

$$K_3 \cdot I_{н.макс} \leq I_{у.МСЗ} \leq I_{к.мін} / K_ч,$$

де  $K_ч$  - коефіцієнт чутливості = 1,25;

$K_3$  - коефіцієнт запасу = 1,15 – 1,25.

Вимикач ШВ2 вибирають з повним пакетом пластин шунта, що налаштовують на уставку струмової відсічки (СВ):

$$I_{у.СВ} \geq K_3 \cdot I_{н.макс},$$

де  $K_3$  - коефіцієнт запасу вибирають 1,15-1,25.

Отриману уставку перевіряють на умову:

$$I_{у.СВ} \leq (1,6 - 1,7) \cdot I_{к.мін}.$$

Обидва швидкодіючі вимикачі заблоковані контактами, що забезпечує відключення двох вимикачів майже одночасно. Вимикач ШВ1 відключається з трохи збільшеним часом спрацьовування при малих струмах коротких замикань, а ШВ2, відбудований від великих струмів навантаження, захищає тільки головну частину фідера, підвищуючи швидкодію при відключенні великих струмів к.з. За принципом це являє собою сполучення максимального захисту з струмовою відсічкою, причому відсічка виконана на максимальному імпульсному захисті. Якщо швидкодіючий вимикач має силовий виток розмагнічування, то він автоматично відключає менші струми за більший час. Таким чином в двозонному захисті вимикач ШВ1 використовується як максимальний струмовий захист (МСЗ) з витримкою часу, а вимикач ШВ2 як струмова відсічка (СВ) без витримки часу. Струмова відсічка виконана на максимальному імпульсному захисті, який реагує на величину і швидкість зростання струму.

З появою нових швидкодіючих вимикачів вітчизняного та закордонного виробництва (ВАБ-206, Gerapid-4207) для захисту фідерів КМ їх встановлюють в поодинокому виконанні, пояснюючи таке встановлення більш потужною дугогасильною камерою. Саме з ними додатково встановлюють мікропроцесорний захист, що має можливість реалізувати декілька різних захистів. Мікропроцесорний захист фідерів постійного струму ЦЗАФ-3,3 включає наступні струмові захисти:

- максимальний струмовий захист (МСЗ);
- дистанційний захист (ДЗ);
- захист по швидкості наростання струму (ЗШНС);
- захист по приросту струму (ЗПС).

Мікропроцесорний захист вимірює тільки такі параметри, як струм і напруга. Всі інші параметри (опір, швидкість зміни струму) мікропроцесорний захист програмно розраховує. На-

явність функції осцилографування аварійних відключень (запис певного періоду в момент аварії) дозволяє аналізувати роботу захисту. Для аналізу необхідно мати данні короткого замикання на початку і в кінці ділянки, яку захищає ЦЗАФ-3,3. Знаючи миттєві значення струму, напруги і алгоритм по якому ЦЗАФ-3,3 розраховує інші параметри можна побудувати графіки зміни цих параметрів у часі. На рис. 2 показана осцилограма близького короткого замикання.

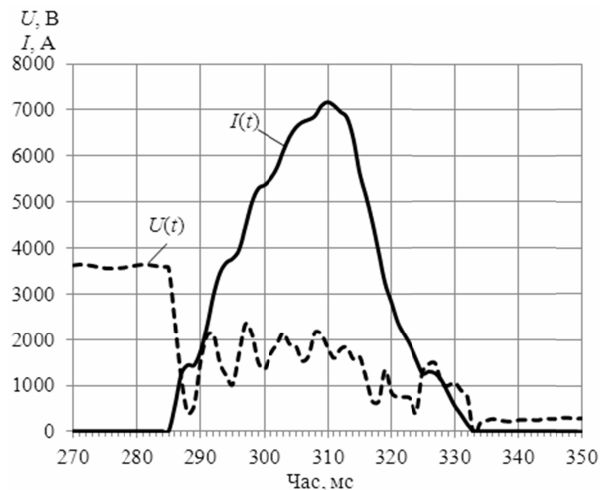


Рис. 2. Миттєві значення струму і напруги при к.з. біля підстанції. Відстань до к.з – 0,9км. Спрацював МСЗ ЦЗАФ-3,3 з уставкою 2800 А

Це типова форма струму і напруги к.з. біля підстанції. Коливальний процес на приєднанні обумовлено ємністю фільтр-пристрою та індуктивністю ділянки контактної мережі. Чим далі місце короткого замикання від підстанції, тим менша амплітуда коливань і форма зміни струму наближається до експоненти (рис. 4). На рис. 3 представлено близьке к.з. зі значеннями струму і напруги, з якими оперує процесор і для наочності там же зображена швидкість зміни струму  $di/dt$ , обчислена по алгоритму ЦЗАФ-3,3 у кА/с.

Для програмування захисту по збільшенню струму необхідно вказати інтервал часу, між яким порівнюються величини струму. Виходячи з крутості наростання струму близького к.з. цей інтервал повинен лежати в межах одиниць мілісекунд. Як видно з рис.3 період коливань лежить у межах 5-8 мс. Вибравши такий інтервал можна потрапити на ділянки з невеликою різницею в значеннях, коли просто не виконається умова спрацювання. Якщо зменшити інтервал часу, то захист стає захистом по швидкості наростання струму. З огляду на те, що в тяговій мережі є робочі режими з великою швидкістю наростання струму (прізд повітря-

ного проміжку, відрив струмоприймача, пуск електропоїзда) – помилкових спрацьовувань не уникнути.

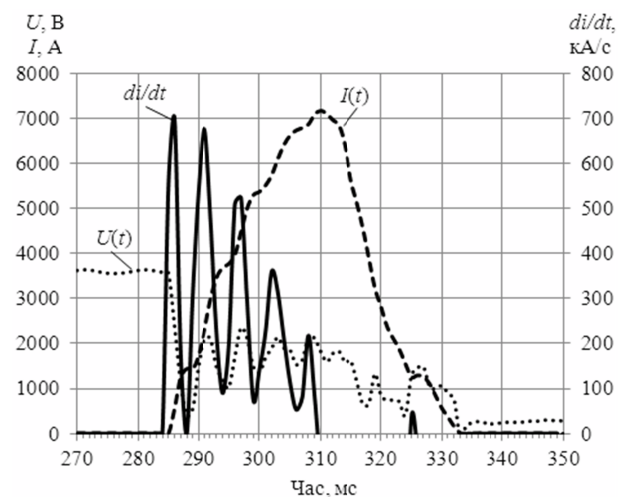


Рис. 3. Розрахована швидкість зміни струму  $di/dt$ , обчислена по алгоритму ЦЗАФ-3,3 в кА/с.

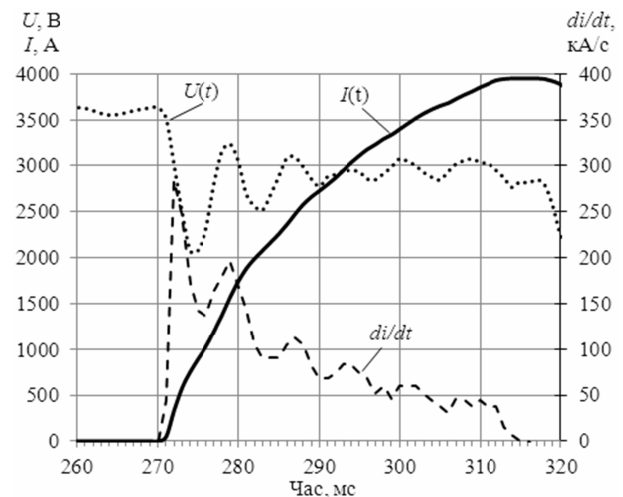


Рис. 4. Осцилограми короткого замикання біля поста секціонування. Спрацював МСЗ ЦЗАФ з уставкою 2800 А. Відстань до к.з = 8,9 км

Побудувавши графік зміни розрахованого опору при к.з. (рис. 5), можна зробити такі висновки:

- 1) Завдяки великій амплітуді у перший напівперіод коливань напруги розрахований опір швидко зменшується. Швидкість зменшення опору більше швидкості зростання струму.
- 2) Завдяки тому, що зміна струму співпадає по фазі з зміною напруги (рис. 4 інтервал 270-290 мс), коливання опору згладжуються і не мають великої амплітуди.
- 3) Захист по опору з великою чутливістю може визначити к.з. в кінці зони захисту.

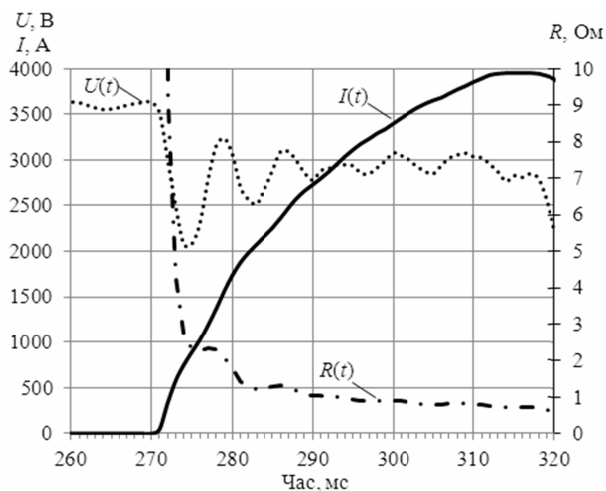


Рис. 5. Розраховані значення опору по алгоритму ЦЗАФ-3,3 при к.з. біля ПСК

Як було зазначено вище, швидкодіючі вимикачі автоматично забезпечують селективність захисту тому, що відключають менші струми за більший час. При використанні мікропроцесорних захистів селективність забезпечується програмуванням витримки часу для різних захистів. МСЗ прямої дії в ЦЗАФ-3,3 виконана без можливості програмування витримки часу. Тому для виконання двозонного захисту на ЦЗАФ-3,3 найбільш доцільно в якості токової відсічки використовувати МСЗ, а для захисту всієї зони – захист по опору.

Струм уставки струмової відсічки визначають за виразом:

$$I_y \leq K_{\text{від}} \cdot I_{\text{к.мін}},$$

де  $I_{\text{к.мін}}$  – розрахований мінімальний струм зони захисту;

$K_{\text{від}}$  – коефіцієнт відстроювання (1,25 ÷ 1,35).

Отриману уставку перевіряють на умову:

$$I_y \geq (1,1 - 1,3) \cdot I_{\text{н.макс}}.$$

Для вибору уставки ДЗ необхідно розрахувати опір зони захисту. Оскільки захист реагує на зменшення величини, то слід вибирати місце к.з. з найбільшим опором кола замикання. Тобто для розрахунку уставки ДЗ користуємось схемою для розрахунку параметрів МСЗ. Докладніше про розрахунки приведено в [2].

Уставку захисту по опору вибирають по співвідношенню:

$$R_y = K_{\text{від}} \cdot R_e,$$

де  $R_e$  – еквівалентний опір кола к.з., дорівнює сумі опорів підстанції, контактної мережі, рейок, живлячих та відсмоктуючих фідерів;

$K_{\text{від}}$  – коефіцієнт відстроювання (1,3 ÷ 1,5).

Уставку перевіряють по співвідношенню:

$$R_y < U_{\text{н.мін}} / (I_{\text{н.макс}} \cdot K_3),$$

де  $I_{\text{н.макс}}$  – максимальне навантаження фідера;

$U_{\text{н.мін}}$  – напруга на шинах підстанції при максимальному навантаженню (можна приймати  $U_{\text{н.мін}} = 3000$  В);

$K_3$  – коефіцієнт запасу ( $K_3 = 1,1$ ).

Мікропроцесорний захист використовує миттєві значення струму і напруги і дозволяє з великою точністю задавати уставки захистів.

Налаштовуючи захист МСЗ мікропроцесорного комплексу ЦЗАФ-3,3 як струмову відсічку, а ДЗ в якості основного захисту, можна змінити селективність.

В результаті проведених досліджень та розрахунків можна зазначити, що захист тягової мережі постійного струму потребує удосконалення, як зі сторони технічного виконання, так і аналітичного розрахунку.

При удосконаленні методів розрахунку струмів коротких замикань та алгоритмів розрахунку уставок можна досягти покращеної селективності захисту, зменшення кількості хибних спрацьовувань вимикачів, що в результаті впливає на надійність електропостачання тягової мережі постійного струму.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Векслер М.И. Защита тяговой сети постоянного тока от токов короткого замыкания [Текст] / М.И. Векслер – М.: Транспорт, 1976. – 120 с.
2. Руководящие указания по релейной защите систем тягового электроснабжения. Защита тяговых сетей постоянного тока 3,3 кВ. Департамент электрификации и электроснабжения [Текст] / - М.: «ТРАНСИЗДАТ», 2005. – 216 с.
3. Устройство цифровых защит и автоматик фидеров ЦЗАФ-3,3. Руководство по эксплуатации. 1СР.251.208-01РЭ.

**Ключові слова:** постійний стум, тягове електропостачання, коротке замикання.

**Ключевые слова:** постоянный ток, тяговое электроснабжение, короткое замыкание.

**Keywords:** direct current, traction power supply, short circuit.

## ВПЛИВ РЕКУПЕРАЦІЇ ТА ВИБІГУ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ НА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ

### Вступ

Як відомо, процес рекуперації на електрорухомому складі (ЕРС) застосовують з двома цілями: по-перше, для пригальмування (десь до 10 км/год) поїзда і, по-друге, з метою повернення електроенергії заради зменшення її об'єму споживання на електротягу при розв'язанні проблеми енергозбереження. При цьому тяговий струм, змінюючи свій напрямок протікання і стаючи генераторним, збільшує свої технологічні коливання у порівнянні з коливаннями у «чисто» тяговому режимі. І тоді, якщо навіть зазначені зміни струму у тяговому режимі обумовлюють зниження енергетичних показників ЕРС і збільшення в ньому додаткових втрат електроенергії [1], певно підсилена рекуперацією (та й вибігом) динаміка зміни струму обумовить ще більше зниження енергетичних характеристик і не лише ЕРС, але й елементів тягового електропостачання.

Тому метою цієї роботи і є оцінити, хоча б в першому наближенні, зазначений вплив рекуперації та вибігів на ділянках системи електротяги постійного струму; подібні опубліковані роботи авторам не відомі.

### Методи експериментальних досліджень і теоретичних розрахунків

Експериментальні дослідження необхідних величин і розрахунки енергетичних показників виконували для електровозів і трамваїв.

Напруга  $U(t)$  на струмоприймачі і тяговий струм  $I(t)$  ЕРС в режимі рекуперації являються випадковими функціями часу – випадковими процесами (рис. 1). Для отримання їх імовірно-статистичних характеристик на діючих ділянках Придніпровської залізниці в процесі реальної експлуатації ЕРС було знято 40 реалі-

зацій  $U(t)$  та  $I(t)$  для електровозу ДЕ1 і 15 реалізацій – для ВЛ8. Крім того, було отримано також 15 реалізацій для трамваю типу ТЗД, що експлуатується на міських маршрутах електро-транспорту. Тривалість реалізацій ЕРС складала ~70 хв., для трамваїв ~30 хв. Реалізації на ДЕ1 фіксували з бортового комп'ютера електровозу, на ВЛ8 – за допомогою розробленої мікропроцесорної системи. Вимірювання напруги на струмоприймачі  $U(t)$  та тягового струму  $I(t)$  трамваю виконувалось шляхом підключення персонального комп'ютера (ПК) до його контрольно-вимірювальної бортової системи, що містить датчики струму та напруги силового кола трамваю та аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). Принципова схема контрольно-вимірювальної бортової системи приведена на рис. 2, де силове коло трамваю умовно позначено змінним резистором  $R$  (для трамваю з реостатним регулюванням) або силовим ( $IGBT$ ) транзистором  $VT$  (для тиристорного трамваю з імпульсним регулюванням). В якості датчиків використано індукційні датчики фірми LEM, робота яких базується на ефекті Холла. На рис. 2: LEM( $I$ ) та LEM( $U$ ) це датчики струму та напруги, які увімкнені в силове коло трамваю, відповідно, послідовно та паралельно. Їх встановлюють в безпосередній близькості від силового кабелю. По величині індукції навколо нього в датчиках створюється сигнал, пропорційний вимірюваній електричній величині. Даний сигнал є аналоговим і тому для запису далі він поступає на плату АЦП, де дискретизується з заданою тактовою частотою і зберігається в деякій базі даних. При експлуатації трамваю на ділянках дана інформація накопичується і потім переноситься на ПК для аналізу та розрахунків.

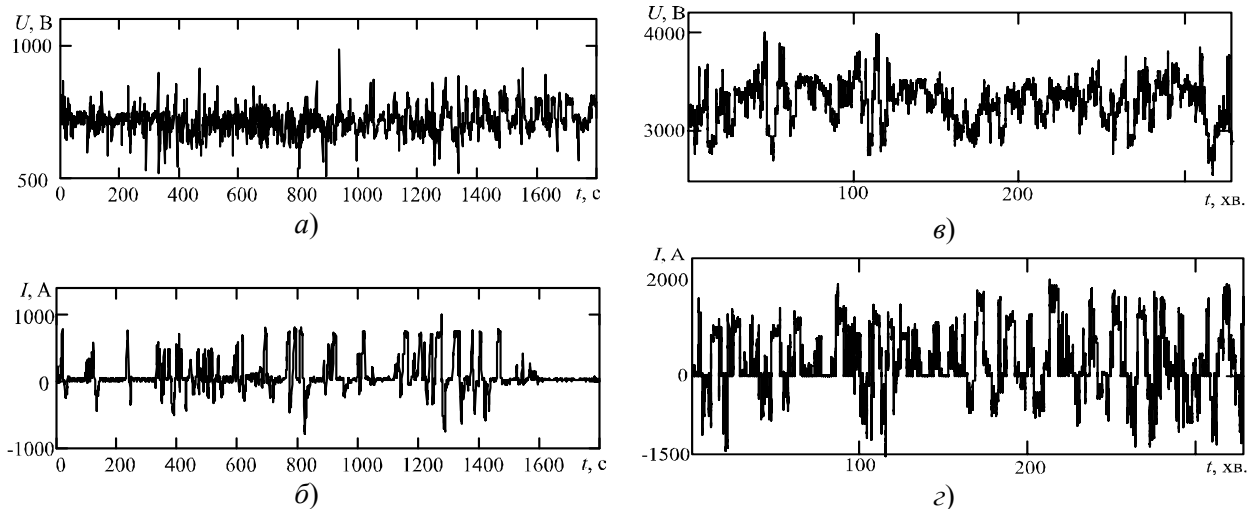


Рис. 1 – Графіки зміни в часі напруги (а) та струму (б) трамваю ТЗД, а також напруги (в) та струму (г) електровозу ВЛ8 в режимах тяги та рекуперації

Реалізації  $U(t)$  та  $I(t)$  реєструвались системою через інтервал часу дискретизації  $\Delta t$ , обраний згідно з теоремою Котельникова [1], як

$$\Delta t = \frac{0,5}{f_B},$$

де  $f_B$  – максимальна (верхня) частота спектру досліджуємих функцій  $U(t)$  та  $I(t)$ , що дорівнює  $(1/2 \dots 1/3) \text{ c}^{-1}$ . Згідно розрахункам частота вибірки складала  $1 \text{ c}^{-1}$ .

Підведено до ЕРС (або рекуперуєму) повну потужність  $S$ , а також її складові, активну  $P$  і реактивну по Фризе  $Q_\Phi$  визначали згідно [2], а енергетичні показники, коефіцієнт потужності  $\lambda$  та коефіцієнт реактивної потужності  $\text{tg } \varphi$ , – за виразами, приведеними в роботі [1].

### Результати розрахунків та їх аналіз

В табл. 1 наведено потужності та енергетичні коефіцієнти ЕРС у режимі рекуперації електровозів ВЛ8. Як бачимо, електроенергія, яка генерується рекуперацією такої якості, що коефіцієнт потужності  $\lambda$  електровозів помітно менше нормованого значення  $0,92 \dots 0,95$ , а коефіцієнт реактивної потужності  $\text{tg } \varphi$  значно перевищує допустиму величину  $0,25$ . Зрозуміло, що така неякісна рекуперуєма енергія буде

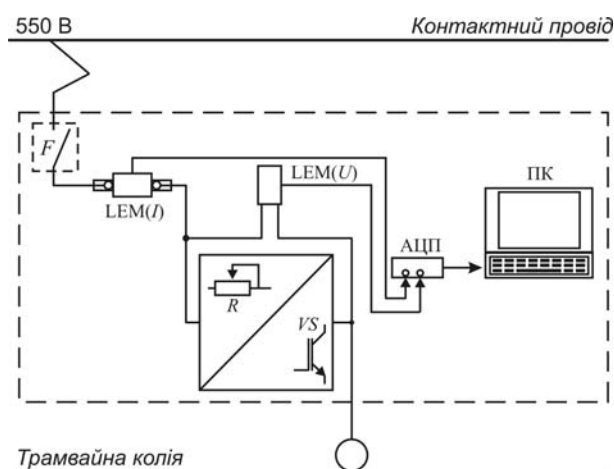


Рис. 2 – Принципова схема підключення ПК до контрольно-вимірювальної бортової системи трамваю для запису реалізацій  $U(t)$  та  $I(t)$

Таблиця 1

№ поїздки	$S$ , кВА	$P$ , кВт	$Q_\Phi$ , квар	$\lambda$ , в. о.	$\text{tg } \varphi$ , в. о.
1	2	3	4	5	6
1.	714,32	564,153	53,248	0,790	0,777
2.	2222,9	1926,83	123,26	0,867	0,576
3.	1673,18	1562,27	95,344	0,934	0,384
4.	2569,86	2231,86	170,972	0,868	0,571
5.	2276,09	1972,43	211,091	0,866	0,576

			$U$ , В	$I$ , А	$S$ , кВА	$P$ , кВт	$Q_{\phi}$ , квар	$\lambda$ , в. о.
Тип трамваю	З реостатним регулюванням	З вибігом	714	312	116,1	223,1	0,52	190,5
		Без вибігу	699	512	281,7	358,2	0,786	221,3
	З імпульсним регулюванням	З рекуперацією і вибігами	711	254	55,7	180,8	0,308	172,0
		Без рекуперації і з вибігами	706	269	106,7	190,5	0,56	157,8
		Без рекуперації і вибігів	697	345	174,3	241,0	0,723	166,4
		Без рекуперації	705	251	106,8	177,3	0,602	141,5
	З рекуперацією	710	226	58,9	161,0	0,336	126,2	

обумовлювати некорисні додаткові втрати електроенергії не лише в силових тягових колах ЕРС, але і в проводах тягової мережі.

Аналогічний, дещо навіть різкіший, характер впливу рекуперації на коефіцієнт  $\lambda$  спостерігається у трамваїв (табл. 2): без рекуперації  $\lambda=0,602$ , а з рекуперацією  $\lambda$  зменшується у 1,65 рази. Вибіги ЕРС (перериви тягового струму) теж негативно впливають на якість електроенергії: без вибігів  $\lambda=0,786$ , а з ними –  $\lambda=0,52$ .

В якості прикладу впливу вибігів в табл. 3 наведено додаткові втрати потужності  $\Delta P$  в активних опорах тягових двигунів електровоза ВЛ8 за реалізаціями шести поїздок.

Таблиця 3

№ поїздки	$\frac{\Delta P}{P} \cdot 100$ , %	З вибігами		Без врахування часу вибігів	
		$\frac{\Delta P_p}{P} \cdot 100$ , %	$\frac{\Delta P_{\sim}}{P} \cdot 100$ , %	$\frac{\Delta P_p}{P} \cdot 100$ , %	$\frac{\Delta P_{\sim}}{P} \cdot 100$ , %
1	2	3	4	5	6
1	6,25	12,32	21,61	12,32	12,45
2	5,76	12,21	19,10	12,21	10,21
3	5,92	13,47	24,14	13,47	13,62
4	6,51	12,24	22,60	12,24	11,32
5	5,85	13,80	23,51	13,80	12,74
6	6,17	14,03	20,25	14,03	12,83

Із порівняння даних стовпців 4 і 6 табл. 3 впливає, що вибіги, збільшуючи реактивну складову тягового струму, обумовлюють відповідно втрати електроенергії на 12...14% більше, ніж без врахування часу вибігів.

Відомо, що робота електровозів без вибігів неможлива, тому паузи в тяговому струмі, а відповідно, нестабільне споживання ЕРС енергії з тягової мережі – це специфічний технологічний характер тягового навантаження. Тому заслуговує уваги питання установки на рухо-

мому складі накопичувача електроенергії великої енергоємності, який при неробочому ході ЕРС буде працювати в режимі підзарядки, споживаючи енергію з мережі певної величини тягового струму. При переході електровоза в тягу накопичувач повинен розряджатися, підживлюючи його силові кола. В такому випадку в тяговому режимі з мережі електровозом будуть споживатися вже менші тягові струми, оскільки частина енергії, споживаної накопичувачем на вибігах, буде повністю повертатися в силове коло ЕРС, а отже, в тяговому режимі на ЕРС будуть діяти два потоки енергії – з тягової мережі і накопичувача електроенергії.

## Висновки

1. Під час рекуперативного гальмування ЕРС генерується електроенергія низької якості, що спричинює додаткові втрати енергії в елементах системи електричної тяги.
2. Вибіги ЕРС те ж помітно зменшують його коефіцієнт потужності.
3. У зв'язку з зазначеним, потрібні докладні теоретичні та експериментальні дослідження процесів рекуперації та вибігів ЕРС, виходячи із умов необхідності розв'язання проблеми енергозбереження на електричному транспорті.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Саблін О. І. Підвищення ефективності електроспоживання електрорухомого складу постійного струму: автореф. дис. ... на здобуття вчен. ступеня канд. техн. наук / Саблін Олег Ігорович. – Дніпропетровськ, 2009. – 21 с.
2. Костін М. О. Методи визначення потужностей в системах зі стохастичними електроенергетичними процесами // Технічна електродинаміка. Тем. вип. ПСЕ – 2006. Частина 6, 2006. – С. 3-8.

## ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ І ПОКАЗНИКИ ЕЛЕКТРОТЯГОВИХ МЕРЕЖ СИСТЕМИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

### Вступ

Система електричної тяги постійного струму лише за назвою є системою постійного струму, а по суті системою змінних і напруги, і струму. Дійсно, електрорухомий склад працює в неперервних експлуатаційних перехідних режимах. Внаслідок цього і низки специфічних технологічних факторів ведення поїзда випрямлена напруга на струмоприймачі і тяговий струм мають різкозмінний випадковий характер зміни в часі. Внаслідок цього обмотки головних і додаткових полюсів, а також якорів тягових двигунів електрорухомого складу є потужними нелінійними індуктивними елементами, що споживають реактивну потужність, яка передається від тягової підстанції, перетікаючи по тяговій мережі, погіршує енергетичні показники і створює в ній додаткові непродуктивні втрати електроенергії. Тому при аналізі електроенергетичних процесів в системі тяги необхідно знання характеру часової зміни цієї потужності, як складової повної потужності, що передається електрорухомому складу.

Як відомо [1, 2], поняття і формули визначення реактивної потужності в мережах з несинусоїдними електричними величинами неоднозначні і до теперішнього часу дискусійні. Але практично всі дослідники одноставні, що при вирішенні задач аналізу втрат електроенергії та електричних показників в електромережах найбільш коректною і перспективною є концепція С. Фризе [3], згідно з якою реактивна потужність (по Фризе  $Q_{\Phi}$ ) визначається як нев'язка між повною  $S$  та активної  $P$  потужностями:

$$Q_{\Phi} = \sqrt{S^2 - P^2}. \quad (1)$$

Цю потужність  $Q_{\Phi}$  С. Фризе запропонував називати неактивною або фіктивною потужністю, тому що вона відрізняється від потужності зсуву, що класично називають реактивною потужністю в колах синусоїдного струму. Тим більше, що вона по суті містить всі складові, обумовлені всіма факторами неякості електроенергії: потужністю зсуву  $Q_{(1)}$ , потужністю

спотворення  $D$ , потужністю несиметрії  $H_C$ , потужністю нерівномірності  $H_P$ :

$$Q_{\Phi} = \sqrt{Q_{(1)}^2 + D^2 + H_C^2 + H_P^2}. \quad (2)$$

Згідно (1) і з урахуванням (2), величина  $Q_{\Phi}$  (надалі – реактивна потужність по Фризе або неактивна потужність) зберігає функціональний характер опису енергетичних властивостей ланцюгів при синусоїдних і несинусоїдних процесах. Так як фідерні і підстанційні напруги і струми є випадковими процесами, то і потужності, які визначаються на їхній основі, тобто  $S(t)$ ,  $P(t)$ ,  $Q_{\Phi}(t)$  теж є випадковими функціями часу. До цього додамо, що, за аналогією з публікаціями в галузі електроенергетики, будемо вважати потужності  $S$ ,  $P$ ,  $Q_{\Phi}$  енергетичними характеристиками, а коефіцієнт потужності  $\lambda(t) = P(t)/S(t)$  і коефіцієнт реактивної потужності  $(\operatorname{tg} \varphi)(t) = Q_{\Phi}(t)/P(t)$  – енергетичними показниками.

### Методики експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження виконували на діючих електрифікованих ділянках Горяїново – Сухачівка, Слав'янка – Миколаївка та Письменна – Ул'янівка Придніпровської залізниці.

Для запису часової залежності обвідної кривої випрямленої напруги тягової підстанції (ТП), необхідної для розрахунку енергетичних показників, застосовували ампервольтметр самописний переносний типу Н339 за №01280, який вмикали паралельно до вихідних затискачів дільника напруги (40/1), увімкненого до шин «+» і «-» ТП. Система приладу Н339 – магнітоелектричний з випрямлячем, клас точності – 1,5. Швидкість запису – 100...300 мм/год. Реєстрацію обвідної кривої випрямленого струму здійснювали за допомогою приладу того ж типу, з тією ж швидкістю запису, але за № 00129, який вмикали паралельно до шунта (3000А/75мВ) досліджуваного фідера.

Розрахунки повної  $S(t)$ , активної  $P(t)$  і реактивної (неактивної по Фризе)  $Q_{\Phi}(t)$  потужностей, а також коефіцієнта потужності  $\lambda$  і

коефіцієнта реактивної потужності  $\text{tg}\varphi$  виконано як «миттєві» (середньохвилинні), «погодинні» (середньогодинні) і «добові» (середньодобові) значення зазначених випадкових величин потужностей, коли одне значення (одну точку на графіках) розраховували як середньоарифметичне відповідно «за 10 хвилин», «за одну годину» і «за добу».

### Результати розрахунків та їх аналіз

Залежності зміни потужностей в часі, тобто  $S(t)$ ,  $P(t)$  і  $Q_{\Phi}(t)$  (рис. 1 і 2) являються неперервними неперіодичними, більш того, стохастичними. Найбільш різкозмінними є «миттєві» графіки потужностей (рис. 1, а), потім «погодинні» (рис. 1, б) і найменш динамічними – «добові» (рис. 2). Закономірним і систематичним в цих графіках є те, що часова залежність повної потужності  $S(t)$ , що передається від ТП в тягову мережу (ТМ), знаходиться вище залежностей  $P(t)$  і  $Q_{\Phi}(t)$ . Що ж стосується графіків останніх потужностей, то подібна закономірність відсутня: лінії кривих  $P(t)$   $Q_{\Phi}(t)$  час від часу перетинаються. При цьому часто  $Q_{\Phi} > P$ , що свідчить про значні перетоки реактивної потужності, які обумовлюють високі значення  $\text{tg}\varphi$  і непродуктивні втрати електроенергії (що буде показано далі).

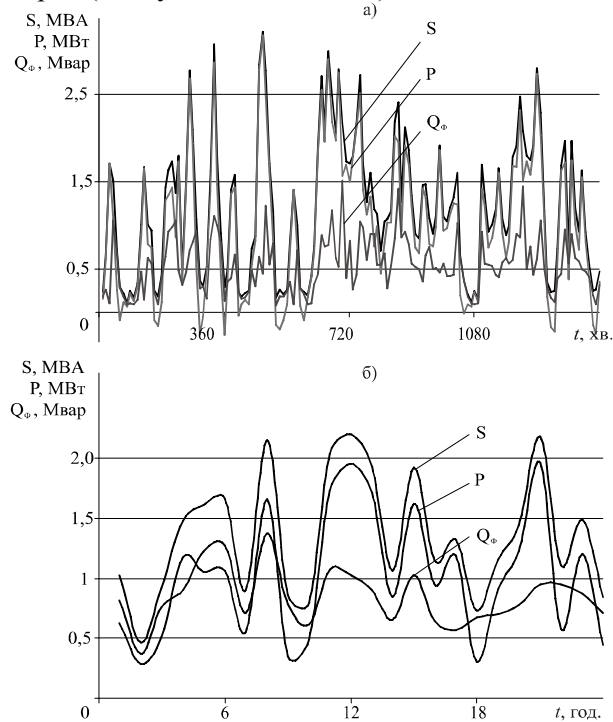


Рис. 1. Часові залежності потужностей, що передаються ТП «Слав'янка» в тягову мережу зони Слав'янка – Миколаївка: а – «миттєві» за 2 години; б – «погодинні» за добу.

Розкиди ( $\text{min}... \text{max}$ ) і «миттєвих», і «погодинних», і «добових» значень усіх трьох потужностей  $S$ ,  $P$ ,  $Q_{\Phi}$  достатньо великі (наприклад, рис. 3).

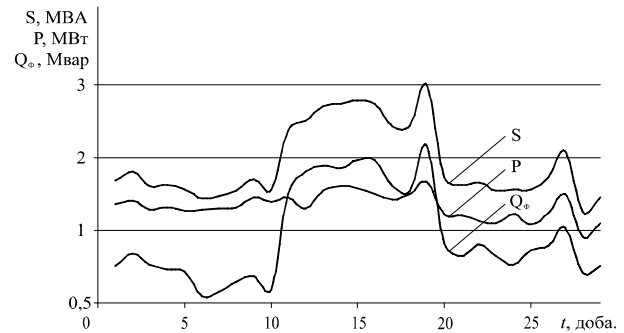


Рис. 2. «Добові» залежності повної  $S$ , активної  $P$  та неактивної  $Q_{\Phi}$  потужностей, що передаються одним фідером ТП «Горяїново» (в напрямку Сухачівки).

Статистичні закони розподілення (гістограми) цих потужностей не відповідають закону Гауса, вони мають значний (до 1,3) додатний коефіцієнт асиметрії, а також значний (до 1,5) додатний ексцес. При цьому спостерігається більша імовірність попадання потужностей на ділянки їх менших значень. Виключення складають «добові» значення неактивної потужності (рис. 3), розподілення яких підкорюється нормальному закону.

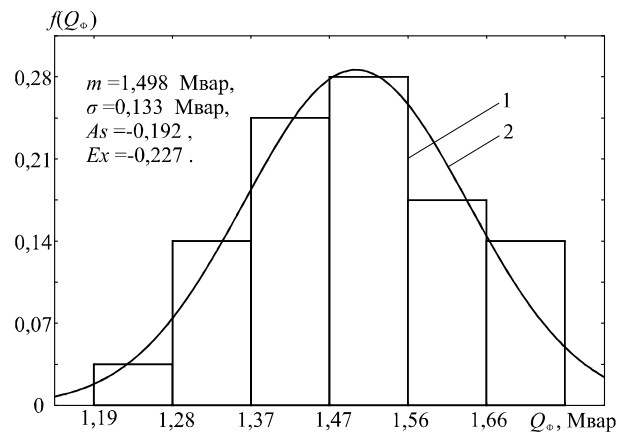


Рис. 3. Статистичний (1) і теоретичний (2) закони розподілення «добових» значень реактивної потужності по Фризе, що передається фідером ТП «Горяїново» на ділянці Горяїново-Сухачівка.

Різкозмінний характер поведінки «миттєвих» значень потужностей (рис. 1, а) обумовлює таку ж, і навіть більшу, динаміку зміни також «миттєвих» часових залежностей коефіцієнту потужності  $\lambda(t)$  і коефіцієнта реактивної потужності  $(\text{tg}\varphi)(t)$ . Менш динамічними є графіки «погодинних» значень  $\lambda$  та  $\text{tg}\varphi$  (рис. 4) і ще більш повільними – залежності «добових» значень (рис. 5).

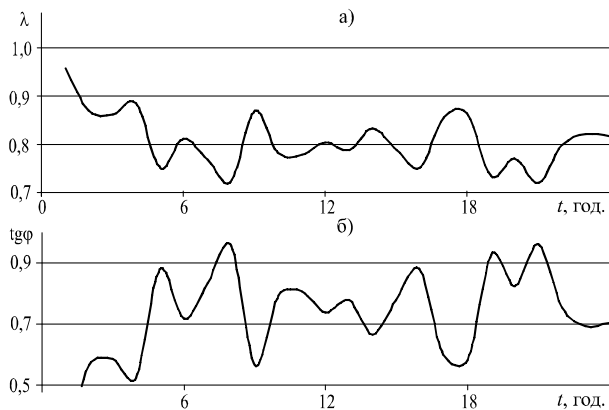


Рис. 4. Часові залежності «погодинних» значень коефіцієнта потужності  $\lambda$  (а) і коефіцієнта реактивної потужності  $\text{tg}\varphi$  (б) на шині 3,3 кВ ТП «Горяїново».

Причому характер кривих  $\lambda(t)$  і  $(\text{tg}\varphi)(t)$  є різним і в різні години, і в різні доби, тобто являються випадковими процесами, які однак будемо аналізувати (після дискретизації в часі) за теорією випадкових величин.

Характерною особливістю графіків рис. 5 є дуже низькі (0,36...0,38) значення  $\lambda$  і занадто високі (2,56...2,6) значення  $\text{tg}\varphi$  у перші 10 діб роботи мережі.

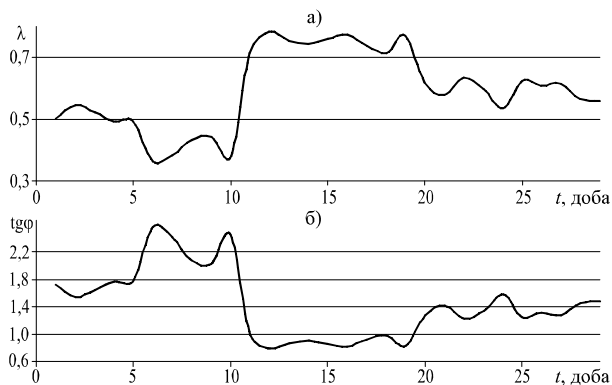


Рис. 5. Часові залежності «добових» значень коефіцієнту  $\lambda$  (а) і коефіцієнту  $\text{tg}\varphi$  (б) ТМ Горяїново-Сухачівка

За нашою думкою, причиною цього є недостатнє поїзне завантаження мережі (певно, мала маса поїздів), яке і обумовило невеликі значення активної потужності  $P$  (рис. 2), що передавались фідером ТП в тягову мережу, що й вплинуло на  $\lambda$  та  $\text{tg}\varphi$ .

Статистичні розподілення (гістограми), як випадкових величин, отриманих шляхом дискретизації в часі  $\lambda(t)$  і  $(\text{tg}\varphi)(t)$ , представлено на рис. 6. Розкиди «добових»  $\lambda$  і  $\text{tg}\varphi$  достатньо значні (рис. 5): відповідно 0,38...0,784 і 0,8...2,56, а середні значення коефіцієнта потужності  $\lambda$  менші від нормативних значень 0,92...0,95, а коефіцієнта  $\text{tg}\varphi$  – більше нормативного 0,25.

Стан дотримання цих нормативних значень «миттєвими» і «погодинними» величинами  $\lambda$  дещо кращий. Закон розподілення  $\lambda$  є «лінійно оберненим» закону розподілення неактивної потужності  $Q_\phi$ , що цілком закономірно. Статистичне розподілення «погодинних» значень  $\text{tg}\varphi$  є близьким до Гаусса з  $As=0,22$  і ексцесом – 0,455, а «миттєвих» і «добових» – відмінне від нормального закону (рис. 6).

На завершення цього підрозділу треба підкреслити, що за даними гістограм для  $\lambda$  і  $\text{tg}\varphi$  можна зробити висновок, що коефіцієнт потужності  $\lambda$  є недостатньо досконалим енергетичним показником в колах несинусоїдного струму, якими є кола електротяги; більш точним і досконалим є коефіцієнт реактивної потужності  $\text{tg}\varphi$ . Дійсно, на всіх гістограмах для «погодинних» випадкових значень  $\lambda$  їх найбільш імовірнісні величини зміщені до інтервалу 0,92...0,99, тобто до максимуму (при нормативних 0,92...0,95).

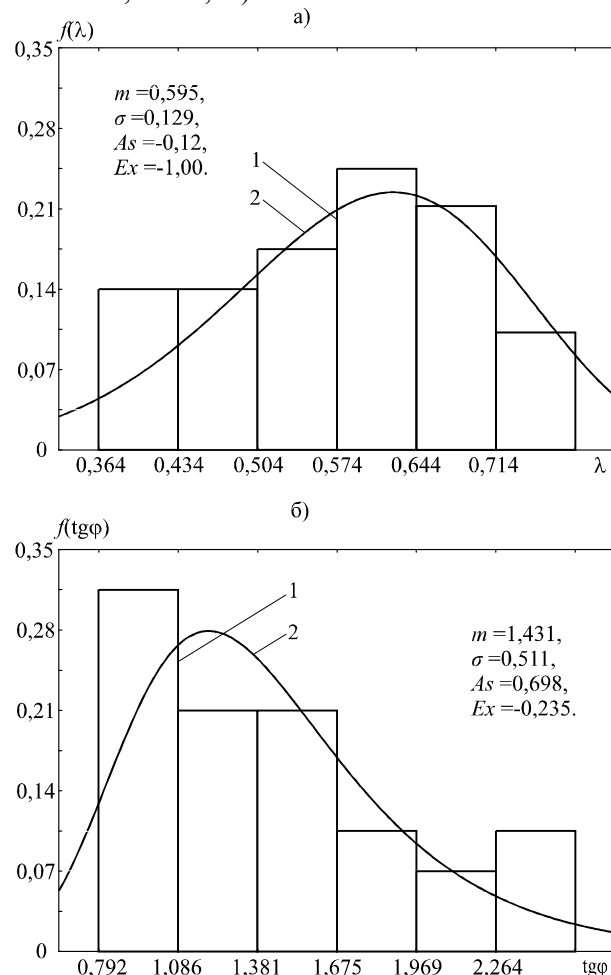


Рис. 6. Гістограми (1) та теоретичні (2) розподілення «добових» значень коефіцієнтів  $\lambda$  (а) і  $\text{tg}\varphi$  (б) ТМ Горяїново-Сухачівка.

В той же час як найбільш імовірнісні теж «погодинні» значення  $\operatorname{tg}\varphi$  для тих же умов зосереджені в межах  $0,27\dots 0,59$  (при нормі  $0,25$ ). Тобто, якщо оцінювати енергетичні показники ТМ за значеннями  $\lambda$ , то вони задовольняють необхідним вимогам, а якщо по  $\operatorname{tg}\varphi$  – не задовольняють.

#### Висновки

1. Часові залежності потужностей, що передаються по тяговій мережі, а також енергетичні показники ( $\lambda$  і  $\operatorname{tg}\varphi$ ) є різкозмінними функціями.

2. Добові значення  $\lambda$  і  $\operatorname{tg}\varphi$  не відповідають нормативним значенням:  $\lambda < 0,92$ , а  $\operatorname{tg}\varphi > 0,25$ .

3. Коефіцієнт потужності  $\lambda$  є недостатнім енергетичним показником в колах несинусоїд-

ного струму; більш точним і досконалим є коефіцієнт реактивної потужності  $\operatorname{tg}\varphi$ .

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Тонкаль В. Е. Баланс энергий в электрических цепях / В. Е. Тонкаль, В. А. Новосельцев, С. П. Денисюк. – К.: Наук. думка, 1992. – 312 с.

2. Костін М. О. Неоднозначність визначення поняття «реактивна потужність» в колах несинусоїдних електричних величин / М. О. Костін, О. Г. Шейкіна // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2002. – Вип. 69. – С. 3-8.

3. Fryze S. Wirk-, Blind- und Scheinleistung in elektrischen stromkreisen min nichtsinustormigen rerlaf von Strom und Spannung / S. Fryze // Elektrotechn. Z. – 1932. – Т. 25. – S. 596-599; Т. 26. – S. 625-627; Т. 29. – S. 700-702.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ТЯГОВОЙ СЕТИ ОТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОТОКА ПОЕЗДОВ

*Представил д.т.н., профессор Гетьман Г.К.*

Особенностью электротяговой нагрузки является непрерывное изменение ее величины в течении любого исследуемого отрезка времени. На это влияет неравномерность движения потока поездов. Причины возникновения неравномерности, исследованные в работах [1-3], могут быть сведены к следующим категориям:

- экономические, вызванные колебаниями объемов перевозок с ростом выпуска продукции, сезонностью производства, изменением связей между районами производства и потребления и т. п. ;

- технические, вызывающие колебания струй вагонопотоков при отправлении с пунктов зарождения или при образовании на станциях формирования из-за сложности соблюдения строгого ритма отправления вагонов как по количеству, так и по времени;

- организационные, создаваемые установившимися режимами работы предприятий, например, перерывами в выходные и праздничные дни, а также ночью, предоставление «окон» для ремонтных и реконструктивных работ, сгущение подвода поездов к пунктам сдачи перед отчетным временем (на 17 ч).

В связи с повышением стоимости электроэнергии и тенденцией ее постоянного роста, все более актуальным становится вопрос уменьшения потерь мощности в тяговой сети за счет решения организационных вопросов, вызывающих неравномерность. Данной проблематике посвящено множество работ [4, 5, 6], однако, проблема исследования зависимостей потерь мощности в тяговой сети от неравномерности потока поездов до конца не решена. Для уменьшения потерь мощности в контактной сети за счет повышения качества управления транспортным потоком, необходимо определить степень влияния каждого показателя потока поездов в отдельности на общую величину потерь мощности.

Средние потери мощности в контактной сети  $\Delta P$  обычно определяются по аналитическим формулам [7]. Для двухстороннего питания фидерной зоны:

$$\Delta P = \frac{rI_0^2 n_0^2}{12} \left( k_{сп}^2 + \frac{2k_{э0}^2 - 1}{n_0} \right), \quad (0)$$

где  $I_0$  - средний ток одного поезда;

$r$  - сопротивление 1 км тяговой сети, Ом;

$l$  - расстояние между подстанциями, км;

$n_0$  - среднее количество поездов между подстанциями;

$k_{э0}$  - коэффициент эффективности одного поезда;

$k_{сп}$  - отношение коэффициентов  $\frac{k_{эс}}{k_{эп}}$  или

$\frac{k_{эс}}{k_{эт}}$ ;

$k_{эс}$  - коэффициент, учитывающий переход от среднего к среднеквадратичному количеству поездов за сутки;

$k_{эп}$  - коэффициент эффективности нагрузки участка (в поездах), характеризующий соотношение среднеквадратичного и среднего количества поездов за исследуемый период;

$k_{эт}$  - коэффициент эффективности нагрузки участка (в поездах), характеризующий соотношение среднеквадратичного и среднего количества поездов в интенсивный период рассматриваемой продолжительности.

При узловой схеме питания

$$\Delta P = \frac{rI_0^2 n_0^2}{32} \left( k_{сн}^2 + \frac{4k_{э0}^2 - 1}{n_0} \right). \quad (2)$$

Как известно, при протекании колеблющейся нагрузки в проводах контактной сети, а также в обмотках трансформаторов, на тяговых подстанциях возникают потери энергии, которые определяются по

среднеквадратичному (эффективному) току  $I_{\text{э}}$ , величина которого определяется по формуле:

$$I_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\int_0^T i^2 dt}{T}}, \quad (3)$$

где  $i$  - мгновенное значение тока, А;

$T$  - период протекания тока;

$I$  - среднее значение тока, за период  $T$ .

Коэффициент эффективности  $k_{\text{э}}$ ,

выражается следующим уравнением:

$$k_{\text{э}} = \frac{I_{\text{э}}}{I}, \quad (4)$$

Коэффициент эффективности одного поезда определяется на основании данных тяговых расчетов или по формуле:

$$k_{\text{э}0} = 1.04 \sqrt{\frac{t}{t_m}}, \quad (5)$$

$$t = \frac{\sum \alpha_p A_p}{\sum \frac{\alpha_p A_p}{t_p}}, \quad (6)$$

где  $\alpha_p$  - доли поездов разных категорий;

$A_p$  - расход энергии поездом данной категории на рассматриваемой фидерной зоне, кВт.ч;

$t_p$  - время хода поезда по ограничивающему перегону при расчетном напряжении.

$$\alpha_p = \frac{n_i}{n_{\text{пр}}}, \quad (7)$$

где  $n_i$  - количество поездов каждой категории;

$n_{\text{пр}}$  - приведенное количество поездов.

$$n_{\text{пр}} = \sum n_{\text{гр}} + \varepsilon' n_{\text{пс}} + \varepsilon'' n_{\text{сб}}, \quad (8)$$

где  $n_{\text{гр}}$ ,  $n_{\text{пс}}$ ,  $n_{\text{сб}}$  - количество соответственно грузовых, пассажирских и сборных поездов;

$\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  - соответственно коэффициент съема пассажирского и сборного поездов.

$$t_m = \frac{\sum \alpha_p A_p}{\sum \frac{\alpha_p A_p}{t_{\text{пр}}}}, \quad (9)$$

где  $\alpha_p$  - доли поездов разных категорий;

$A_p$  - расход энергии поездом данной категории на рассматриваемой фидерной зоне, кВт.ч;

$t_m$  - время хода поезда под током.

Средний ток для каждого поезда на фидерной зоне при разнотипных поездах определяется для каждого пути по формуле:

$$I_o = \frac{1}{Ul} \sum \alpha_p A_p v_p = \frac{1}{U} \sum \frac{\alpha_p A_p}{t_p}, \quad (10)$$

где  $A_p$  - расход энергии поездом данной категории на рассматриваемой фидерной зоне, кВт.ч;

$\alpha_p$  - доли поездов разных категорий;

$v_p$  - средние ходовые скорости поездов данной категории на фидерной зоне, км/ч;

$l$  - длина фидерной зоны, км;

$t_p$  - время хода поезда по фидерной зоне.

Для расчета коэффициента Авторами статьи проведен анализ графиков выполненного движения поездов на двухпутном участке Приднепровской железной дороги [8-10]. В ходе исследования установлены пределы изменения коэффициентов:

$$k_{\text{эс}} = 1,09...1,3;$$

$$k_{\text{ип}} = 1,55...2,2;$$

$$k_{\text{эп}} = 1,005...1,18;$$

$$k_{\text{эп}} = 1,01...1,03;$$

$$k_{\text{сп}} = 1,08...1,26.$$

Проанализируем пределы изменения потерь мощности в тяговой сети межподстанционной зоны постоянного тока при изменении коэффициента  $k_{\text{сп}}$ .

Исходные данные для расчёта представлены в табл.1

Таблица 1

Исходные данные

г, Ом/км	l, км	I <sub>0</sub> , А	n <sub>0</sub>	k <sub>э0</sub>
0,058	12	1360	2	1,25

На рис.1 представлен график изменения потерь мощности на межподстанционной зоне при двухстороннем питании и при узловом

схеме питания. При принятых исходных данных потери мощности в контактной сети на межподстанционной зоне могут изменяться на 18,9% для схемы двухстороннего питания и на 11,1% для узловой схемы питания в зависимости от величины коэффициента  $k_{сп}$ , который характеризует неравномерность потока поездов на участке.

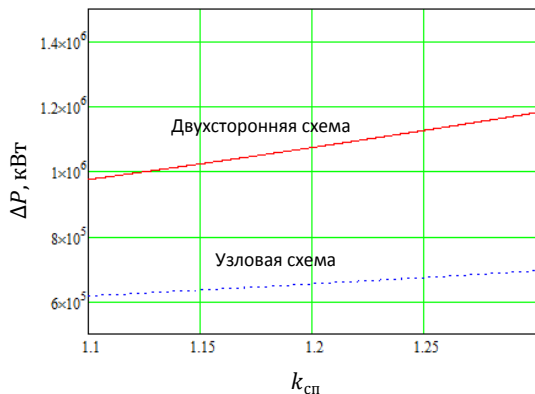


Рис. 1. Зависимость потерь мощности на межподстанционной зоне от коэффициента  $k_{сп}$

### Вывод

Установлены пределы изменения потерь мощности в контактной сети на межподстанционной зоне при изменении характеристик потока поездов. Это даёт возможность рассчитывать потенциал экономии электроэнергии за счёт рациональной организации перевозочного процесса.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Угрюмов, А. К. Неравномерность движения поездов [Текст] / А. К. Угрюмов. – М.: Транспорт, 1968. – 112 с.
2. Левин, Д. Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом [Текст] / Д. Ю. Левин. - М.: Транспорт, 2008. – 625 с.
3. Мирошниченко, Р. И. Режимы работы электрифицированных участков [Текст] / Р. И. Мирошниченко - М.: Транспорт, 1982. – 207 с.
4. Митрофанов, А. Н. Моделирование процессов прогнозирования и управления электропотреблением тяги поездов [Текст] / А.

Н. Митрофанов; Самарская гос. акад. путей сообщения. - Самара. - 2005, -168 с.

5. Доманская, Г. А. Энергосберегающие технологии тягового электроснабжения железных дорог с учетом режимов работы питающих их энергосистем [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.22.09 / Г. А. Доманская. – Д.:, 2007. – 25 с.

6. Землянов, В. Б. Энергооптимальные технологии анализа и регулирования электропотребления на тягу поездов [Текст]: автореф. дис...канд. техн. наук : 05.22.09 / Землянов Владимир Борисович; [ДНУЖТ].- Д.:2000.-23 с.

7. Эксплуатационные требования к параметрам устройств энергоснабжения железных дорог, электрифицированных на постоянном токе [Текст] : сб. науч. тр. / ВНИИЖТ – Москва : Трансжелдориздат, 1959. – 234 с.

8. Кузнецов, В. Г. Оптимизация взаимного расположения поездов на перегоне с учётом условий электроснабжения [Текст] / В.Г. Кузнецов, К.А. Калашников // Тезисы 4ой Международной научно-практической конференции "Электромагнитная совместимость и безопасность на железнодорожном транспорте" ЕМС&S-R".-2011.-Чинадиево: ДНУЖТ. – С. 48-49.

9. Кузнецов, В. Г. Оптимизация графика движения поездов с учётом энергетической составляющей [Текст] / В.Г. Кузнецов, К.А. Калашников // Труды международной научно-практической конференции "Проблемы и перспективы развития транспортного комплекса: образование, наука, производство".-2009.-г. Ростов на Дону:РГУПС.-С.362-363.

10. Кузнецов, В. Г. Энергооптимальное управление потоком поездов [Текст] / В.Г. Кузнецов, К.А. Калашников // Материалы II международной научно-практической конференции "Энергосбережение на железнодорожном транспорте". – 2011. – Ждениево: ДНУЖТ. – С.35-37.

## ДІЯЛЬНІСТЬ ЗАЛІЗНИЦЬ ЯК УЧАСНИКІВ ОПТОВОГО РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ УКРАЇНИ

*Представив д.т.н., професор Гетьман Г.К.*

Починаючи з 50-х років минулого сторіччя, залізниці активно реконструювали і будували нові трансформаторні підстанції, повітряні і кабельні лінії напругою від 0,4 до 110 кВ. За цей час залізниці отримали розгалужену електричну структуру.

Відповідно до постанови ЦК КПРС і Ради Міністрів від 21.12.1961 при електрифікації залізниць передбачалось електропостачання від електромереж залізниць не тільки залізничних споживачів, але і сільськогосподарських, промислових та комунально-побутових споживачів, розташованих в прилеглих до залізничних ліній районах.

До електричних мереж підключались промислові і сільськогосподарські підприємства, дачні, садові, гаражні кооперативи. Для працівників, що обслуговували залізниці будували житло поблизу залізничних станцій, переїздів і підключали його до електричних мереж залізниць. На більш великих станціях будувались багатоповерхові будинки, а в містах де були розташовані відділення або управління залізниць мережі цілих мікрорайонів належать залізниці. Завдяки цьому залізниці отримали велику кількість споживачів, підключених до їхніх електромереж. З усього обсягу електроенергії, що проходить через мережі залізниць, близько 11% – це електроенергія саме для подібних споживачів.

Основні роботи з електрифікації залізничного транспорту, а саме проектування та розробка основних правил, виконувались у 70-х роках минулого сторіччя. При електрифікації залізниць будувались також і мережі зовнішнього електропостачання, провадилась реконструкція мереж Міненерго, з подальшою передачею їх на баланс експлуатаційним підрозділам Міненерго.

Для електропостачання контактної мережі будувались тягові підстанції, відстань між якими на постійному струмі була 15 – 20 км, а на змінному 45 – 55 км.

Виконанням комплексу робіт із безперебійного та якісного електропостачання підприємств залізничного транспорту, утриманням пристроїв електропостачання в належному стані займалось господарство електропостачання залізниць, в

складі служб електропостачання та їх підрозділів – дистанцій електропостачання.

Дистанціями електропостачання виконувались наступні завдання:

- забезпечення надійної експлуатації пристроїв електропостачання електрифікованих ліній залізниць для забезпечення безпеки руху поїздів;
- контроль за економним використанням електричної енергії, дотриманням лімітів та питомих норм споживання;
- організація та контроль розробки прогресивних норм витрат електроенергії на підприємствах і організаціях залізниць;
- постачання та передача електричної енергії споживачам власними мережами та ін.

Враховуючи значну кількість споживачів, приєднаних до мереж залізниць та щорічно зростаючий обсяг споживання електроенергії на потреби тяги поїздів, залізниці були вимушені розробляти нові заходи, направлені на мінімізацію витрат на електричну енергію.

Законом України «Про електроенергетику», прийнятим у 1997 році, було визначено, що купівля всієї електроенергії, виробленої на електроцентралях та весь її оптовий продаж здійснюється на Оптовому ринку електроенергії України, який створюється відповідно до договору. Сторонами договору є суб'єкти господарської діяльності:

- орган диспетчерського управління об'єднаною енергетичною системою України;
- виробники електричної енергії;
- електропередавальні компанії, що здійснюють передачу електричної енергії магістральними та локальними (місцевими) електромережами відповідно до отриманої ліцензії;
- енергопостачальні компанії, що здійснюють постачання електричної енергії споживачам відповідно до отриманої ліцензії.

У 2000 році, в якості експерименту, на 5 тягових підстанціях Київської дистанції електропостачання Південно-Західної залізниці, Державним підприємством «Укренергоналадкавімірювання» була змонтована Автоматизована система комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). Результати роботи даної системи до-

зволити визначити, що для залізниці є економічно доцільним закуповувати електроенергію на тягу поїздів за власним графіком на Оптовому ринку електроенергії.

В тому ж році було прийнято Закон України «Про природні монополії», де передбачено, що діяльність суб'єктів природних монополій підлягає ліцензуванню. До природних монополій була віднесена діяльність залізничного транспорту, а також діяльність в сфері електроенергетики, в тому числі передача та постачання електричної енергії.

У період з 1996 по 2002 всі залізниці отримали ліцензії на постачання електроенергії за регульованим тарифом, а також ліцензії на передачу електричної енергії місцевими (локальними) мережами, хоча діяльність за ними фактично так і не здійснювалась у повній мірі.

Першою ластівкою була Південно-Західна залізниця, яка у 2001 році отримала ліцензію за нерегульованим тарифом та почала закуповувати електроенергію на тягу поїздів на Оптовому ринку електроенергії. Дана діяльність дозволила залізниці зменшити витрати на закупівлю електроенергії на 5%. Але при цьому виникали протиріччя між Умовами і Правилами здійснення ліцензованої діяльності, затвердженими Національною комісією регулювання електроенергетики, та фактичною діяльністю залізниці, зокрема в частині постачання електроенергії стороннім транспорту абонентам та населенню.

З одного боку залізниця не мала права, як ліцензіат з постачання електроенергії за нерегульованим тарифом, здійснювати постачання електроенергії побутовим споживачам, а з іншого – не могла припинити постачання, оскільки це б викликало значний суспільний резонанс, адже більшість цих споживачів просто не мало іншої альтернативи, ніж отримувати електроенергію від залізничних мереж. Крім того, залізниця, здійснюючи постачання електроенергії для населення за пільговими тарифами, не мала права на відшкодування власних витрат, що виникали як різниця між загальними тарифами та тарифами для населення.

Також, для власного не тягового споживання залізниця продовжувала закуповувати електроенергію у Обленерго, тобто була залежна від цих компаній. Така залежність причиняла залізниці масу незручностей: як економічних – штрафи, пені, донарахування, так і психологічних – численні перевірки з боку Обленерго, приписи та ін.

Крім того, залізниця, фактично здійснюючи таку ж діяльність як і Обленерго, на відміну від

них не мала можливості проводити модернізацію власних електричних мереж за рахунок своїх споживачів.

Враховуючи всі обставини, керівництвом Укрзалізниці спільно з залізницями України було прийнято стратегічне рішення про повернення до ліцензії на здійснення постачання електроенергії за регульованим тарифом.

Наказом Генерального директора Укрзалізниці № 268-Ц від 8 травня 2001 року на залізницях України створені структурні підрозділи «Енергозбут» при службах електропостачання залізниць.

Одним з основних напрямків роботи Енергозбутів була робота з удосконалення системи обліку електроенергії, зменшення затрат грошових коштів на її закупівлю, а також збільшення надходжень за послуги з передачі електроенергії власними мережами залізниці обласним електропостачальним організаціям.

Штат новостворених структурних підрозділів було частково укомплектовано працівниками Дистанцій електропостачання і частково – молодими фахівцями, які були підготовлені такими навчальними закладами як ДІП, ДЕДУТ, КЕМТ.

Територія обслуговування виробничих відділів Енергозбуту відповідала території обслуговування Дистанцій електропостачання. Виробничі відділи здійснювали обслуговування споживачів електричної енергії в межах обслуговування пристроїв електропостачання відповідних дистанцій.

В своїй роботі Енергозбути керуються чинним законодавством України, Законом України «Про електроенергетику», «Правилами користування електричної енергії», «Правилами улаштування електроустановок споживачів», міжгалузевими і галузевими актами.

20 лютого 2002 року Південно-Західна залізниця отримує ліцензію на право здійснення підприємницької діяльності з постачання електроенергії за регульованим тарифом, а 25 березня 2002 року на відкритому засіданні Національної комісії регулювання електроенергетики для залізниці були затверджені тарифи на постачання та переглянуті тарифи на передачу електроенергії мережами залізниці.

Отримання ліцензій, як виявилось, ще не означало, що після їх отримання залізниці отримують можливість одразу ж за ними працювати. В Національній комісії неодноразово виникали суперечки і дискусії, основною причиною яких було небажання породжувати на одній встановленій території (області) декіль-

кох постачальників за регульованим тарифом, а вже існуючі ліцензіати на цій території (Обленерго) звісно ж не бажали отримати такого потужного конкурента. Але, як власники електричних мереж, залізниці однозначно мали право на здійснення цієї діяльності: вони мають власні локальні електричні мережі, мають доступ до магістральних електромереж, мають власних споживачів, в тому числі і побутових.

Опоненти залізниць також оперували аргументом, що у корисному відпуску електроенергії залізниці складова власного споживання становить 70 – 80%, а в обсягах передачі електроенергії 45 – 55%.

Звісно, робота на Енергоринку, у якості постачальників за регульованим тарифом, вимагає не тільки отримання відповідних ліцензій.

Наступним кроком було здійснення комплексу заходів із приведення діяльності підрозділів господарства електропостачання Південно-Західної залізниці у відповідність до вимог законодавства та Умов і Правил здійснення підприємницької діяльності з передачі електроенергії місцевими (локальними) електромережами та постачання електроенергії за регульованим тарифом.

Для приведення схем та засобів обліку до вимог Інструкції про комерційний облік електроенергії Оптового ринку електроенергії залізницею були виконані наступні роботи: розроблені та підписані Акти балансового розмежування електричних мереж; проведено експертизу та складені протоколи перевірок кіл обліку електроенергії; по підстанціям, на яких облік знаходився не на межі балансового розмежування, розраховані алгоритми врахування електроенергії та втрат в мережах та обладнанні; встановлені вимірювальні пристрої відповідно до класу точності.

Роботи в даному напрямку ще проводились, однак виконання на першому етапі дало змогу залізниці з 1 квітня 2002 року розпочати закупівлю електроенергії з Оптового ринку, в якості ліцензіата з постачання за регульованим тарифом, у стовідсотковому обсязі по Хмельницькій області.

Поступово залізницею здійснюється подальший перехід на закупівлю електричної енергії з Оптового ринку електроенергії. В 2002 році Південно-Західна залізниця закуповувала електроенергію з ОРЕ в розмірі 80% від загального обсягу купівлі, в 2003 відсоток зріс до 85,1%, а за 2004 рік купівля електроенергії з ОРЕ становить близько 90%. Збільшення обсягів закупівлі електроенергії з ОРЕ дало змогу Південно-Західній залізниці зменшувати суму коштів на закупівлю електроенергії.

З цього часу взаємовідносини між залізницею та Обленерго були кардинально змінені. Були заключені договори на взаємні послуги з передачі електроенергії власними локальними мережами. Обленерго вже були не в змозі лімітувати залізницю, та нараховувати п'ятикратну вартість електроенергії в разі збільшення залізницею ліміту споживання.

З переходом залізниці із рангу споживача в ранг постачальника змінилися вимоги і до обсягу інформації, що передається; інтервалів часу; систем передачі; контролю граничних величин потужності в часи максимуму. Виникла необхідність встановлення додаткових приладів обліку, атестації вимірювальних комплексів, тощо.

На даний час навіть від споживачів вимагається впровадження у себе автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), а до постачальників електричної енергії такі вимоги значно жорсткіші.

Так, з 2001 року залізницями вже витрачено більше 81 млн.грн. на побудову такої системи. І на даний час ці роботи не припиняються.

В той же час, слід зазначити, що економічний ефект від такого впровадження також значний.

Завдяки використанню фактичних погодинних даних споживання електроенергії, отриманих від АСКОЕ, які використовуються при визначенні ціни закупівлі електроенергії в Оптовому ринку електроенергії, та при розрахунках по диференційованому тарифу, за період з 2001 по 2010 роки економія витрат Південно-Західної залізниці на закупівлю електроенергії склала 355,4 млн. грн. з ПДВ.

Однак протягом тривалого часу Південно-Західна залізниця залишалась єдиною залізницею, що закуповувала електроенергію на ОРЕ.

Для координації та організації переходу на ОРЕ інших залізниць, у 2007 році в Укрзалізниці було створено самостійне управління – Управління енергозбуту, яке з часом було приєднане до Головного управління електрифікації та електропостачання. «Кістяк» управління було утворено із фахівців, які у свій час вивели на ОРЕ Південно-Західну залізницю.

Результату роботи управління не прийшлося довго чекати. Вже у 2008 році на ОРЕ виходить Донецька залізниця, а ще через півтора роки – Придніпровська.

На даний час питаннями забезпечення єдиної стратегії щодо діяльності господарств електропостачання залізниць з експлуатації та розвитку локальних (місцевих) електричних мереж

залізниць, формування єдиної політики щодо здійснення ліцензованої діяльності залізниць з передачі та постачання електричної енергії для потреб залізничного транспорту та суб'єктів господарювання і населення України на основі нормативно-правової бази електроенергетики України, розробки та реалізації стратегічних напрямків діяльності залізниць з підвищення економічної ефективності використання електричних мереж, закупівлі та збуту електроенергії займається Головне управління електрифікації та електропостачання Укрзалізниці.

Для забезпечення ведення залізницями господарської діяльності з передачі та постачання електроенергії у відповідності до вимог Умов і Правил здійснення ліцензованої діяльності протягом 2002-2010 років проводилась робота з відпрацювання механізму співпраці залізниць з ОРЕ та суміжними ліцензіатами (обленерго): виконувались організаційні та технічні заходи, вносились необхідні зміни до нормативних документів Укрзалізниці, залізниць та НКРЕ. Так, були реалізовані наступні заходи:

- розроблена та погоджена з Національною комісією регулювання електроенергетики України Методика розподілу бухгалтерського обліку між діяльністю залізниць з передачі та постачання електроенергії і здійсненням діяльності з перевезень;
- організовано приведення бухгалтерської та статистичної звітності з ліцензованої діяльності до вимог діючого законодавства;
- затверджені тарифи на передачу та постачання електроенергії електричними мережами залізниць;
- відкрито в уповноваженому банку розрахункові рахунки зі спеціальним режимом використання коштів для проведення розрахунків за спожити електроенергію;
- було взято на контроль впровадження автоматизованої системи комерційного обліку елек-

троенергії (АСКОЕ) залізниць та застосування даних системи для розрахунків при закупівлі електричної енергії від ДП «Енергоринок»;

- організовано роботу по зменшенню втрат електричної енергії в мережах залізниць;
- введено постійний контроль за дотриманням споживачами умов договорів про постачання електричної енергії стосовно вчасної та повної оплати спожитої електроенергії;
- затверджені коефіцієнти нормативних втрат електричної енергії в електричних мережах залізниць.

На сьогоднішній день залізниці закуповують електроенергію для власних потреб та для постачання своїм абонентам у різних типів постачальників – постачальників за регульованим тарифом (обленерго), постачальників за регульованим тарифом (ПНТ) та на Оптовому ринку електроенергії України. При закупівлі електричної енергії у незалежних постачальників електричної енергії договорами на постачання між залізницями та ПНТ в умовах оплати передбачено зменшення плати за електричну енергію відносно ціни відповідного постачальника за регульованим тарифом, тобто єдиної роздрібною ціни, яка затверджується НКРЕ, та діє для всіх споживачів України.

Робота залізниць на Оптовому ринку, використання прогресивних способів закупівлі електроенергії, отримання достовірної інформації за допомогою системи комерційного обліку дає змогу отримувати значну економію витрат від закупівлі електроенергії залізницями. Так впродовж 2001-2010 років економія витрат залізниць склала 620,5 млн. грн. з ПДВ. Динаміка зміни економії витрат коштів залізниць на закупівлю електроенергії по роках наведено на рис. 1.

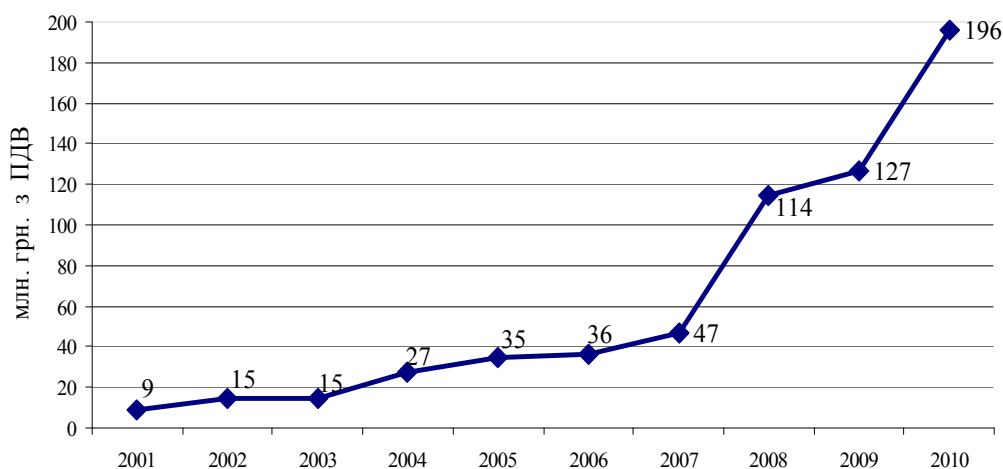


Рис. 1. Економія витрат залізниць на закупівлю електроенергії в динаміці за 2001-2010 роки.

Затвердження коефіцієнтів нормативних втрат електричної енергії в електричних мережах залізниць дає можливість залізницям отримувати кошти від споживачів на компенсацію втрат електроенергії від передачі та постачання її власними мережами.

Затвердження тарифів на постачання та передачу електроенергії встановлюються таким чином, щоб забезпечити ліцензіату прибуток та достатні надходження коштів для відшкодування його виправданих витрат, а також стимулювати його до скорочення цих витрат і підвищення рентабельності діяльності.

На сьогодні до електричних мереж залізниць підключено 106,9 тис. споживачів, з яких сторонніх – 9,5 тис., побутових – 96,2 тис., залізничних – 1,2 тис.

Залізниці – ліцензіати з постачання електричної енергії за регульованим тарифом та з передачі електроенергії місцевими (локальними) електромережами, реалізують електроенергію власним споживачам за єдиними тарифами, які

затверджуються НКРЕ та формуються залізницями згідно з Умовами та Правилами здійснення підприємницької діяльності з постачання електричної енергії за регульованим тарифом. Тарифна політика в електроенергетиці, в тому числі і для залізниць, базується на принципі забезпечення повного відшкодування споживачем економічно обґрунтованих витрат на передачу та постачання електричної енергії. Тарифи на електроенергію визначаються єдиними для всіх споживачів (крім населення) відповідного класу напруги без врахування належності споживача до тієї чи іншої галузі економіки.

Таким чином, проведена залізницями та Головним управлінням робота приносить значні вигоди для залізничного транспорту в частині зменшення витрат на закупівлю і споживання електроенергії. Незважаючи на постійне зростання цін на електричну енергію, доля її витрат в експлуатаційних витратах Укрзалізниці з 2000 року знаходиться в межах 8 – 8,5% (рис. 2).

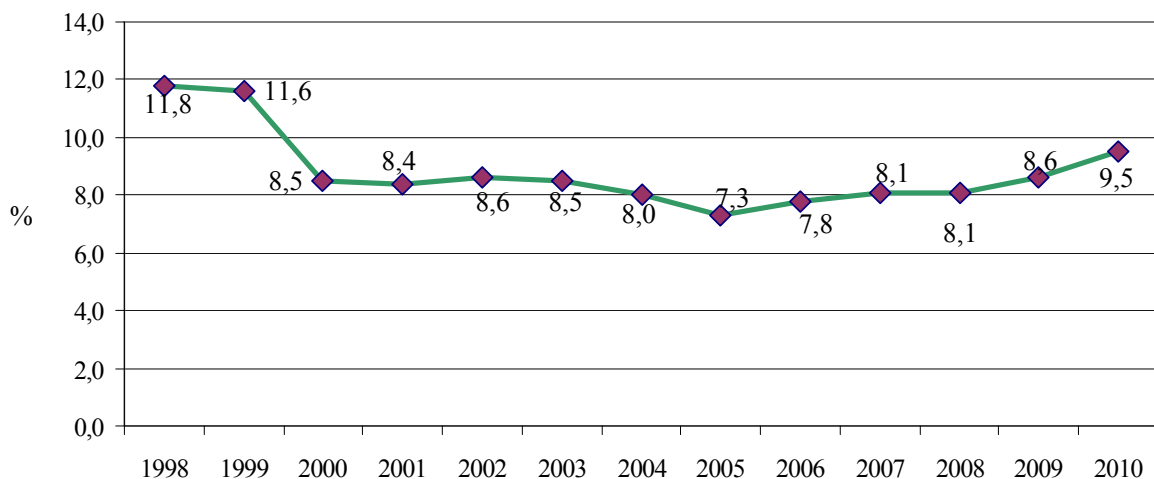


Рис. 2. Питома вага витрат на електроенергію в експлуатаційних витратах Укрзалізниці за 1998-2010 роки

**Ключові слова:** оптовий ринок електроенергії, система комерційного обліку, ліцензія з постачання електроенергії, економія витрат.

**Ключевые слова:** оптовый рынок электроэнергии, система коммерческого учета, лицен-

зия на поставку электроэнергии, экономия расходов.

**Keywords:** wholesale electricity market, commercial accounting system, the license to supply electricity cost savings.

## ОБГРУНТУВАННЯ І МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ТА ПАРАМЕТРІВ СТРУМУ КОМПЕНСУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ТЯГОВИХ МЕРЕЖ

### Вступ

Як відомо [1], непродуктивні втрати електроенергії  $\Delta P_{\text{д}}$  в тяговій мережі обумовлені технологічними змінами випрямлених фідерних напруги і струму, які, в свою чергу, обумовлюють виникнення і перетікання реактивної потужності по Фризе  $Q_{\text{ф}}$ . Одночасно, спектральний аналіз зазначених напруг і струмів показав, що вони містять інтергармоніки (ІГ) [2]. Тому зменшення втрат  $\Delta P_{\text{д}}$  в тяговій мережі повинно передбачати компенсацію ІГ, тобто потужності  $Q_{\text{ф}}$ .

### Обґрунтування форми та параметрів струму

Серед існуючих підходів для електричних кіл несинусоїдних електричних величин найбільш поширеним способом компенсації реактивної потужності по Фризе  $Q_{\text{ф}}$  отримав спосіб поперечної компенсації [3]. Повна компенсація  $Q_{\text{ф}}$  за критерієм мінімуму втрат електроенергії передбачає виконання протягом певного інтервалу часу  $\tau$  строгої пропорційності між функціями напруги  $U_{\text{е}}(t)$  і струму  $I_{\text{е}}(t)$  (або струму і напруги) на затискачах ЕРС, тобто, щоб

$$\frac{U_{\text{е}}(t)}{I_{\text{е}}(t)} = R_{\Sigma}(t) = \text{const}, \quad \frac{I_{\text{е}}(t)}{U_{\text{е}}(t)} = G_{\Sigma}(t) = \text{const}, \quad (1)$$

де  $R_{\Sigma}(t)$  і  $G_{\Sigma}(t)$  – сумарні параметричний опір і провідність відносно вхідних затискачів ЕРС.

У такому випадку здійснення компенсації  $Q_{\text{ф}}$  необхідно виконувати за миттєвими величинами з використанням принципу слідкування за формою струму. Тобто, необхідна розробка адаптивних систем слідкування за миттєвими значеннями випрямлених напруги і струму. Тому для структурно-параметричного синтезу схеми компенсуючого пристрою (КП) необхідно знати форму струму  $I_{\text{к}}(t)$ , який повинен генерувати компенсатор, а також його параметричну провідність  $G_{\text{к}}(t)$ . Викладемо теоретичне обґрунтування загальної методики визначення цих величин-функцій.

Розкладемо провідності  $G_{\text{к}}(t)$ ,  $G_{\text{е}}(t)$  на постійні і змінні складові.

$$G_{\text{к}}(t) = G_{\text{к0}} + G_{\text{к}\sim}(t), \quad G_{\text{е}}(t) = G_{\text{е0}} + G_{\text{е}\sim}(t). \quad (2)$$

У відповідності з наведеною вище умовою (1), має місце умова по сумарній вхідній провідності  $G_{\Sigma}(t)$  (рис. 1):

$$\frac{I(t)}{U(t)} = G_{\Sigma}(t) = G_{\text{к0}} + G_{\text{к}\sim}(t) + G_{\text{е0}} + G_{\text{е}\sim}(t) = \text{const}. \quad (3)$$

Припустимо, що компенсуючий пристрій реалізовано на основі напівпровідникових і реактивних елементів, тобто в ньому відсутні резистивні елементи й тим самим цей компенсатор не перетворює електроенергію в інші форми енергії, тоді справедливим є, що  $G_{\text{к0}} = 0$  і (3) спрощується

$$G_{\Sigma}(t) = G_{\text{к}\sim}(t) + G_{\text{е0}} + G_{\text{е}\sim}(t) = \text{const}. \quad (4)$$

де  $G_{\text{е0}} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} G_{\text{е}}(t) dt$ .

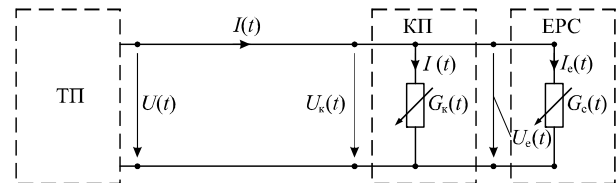


Рис. 1. Розрахункова схема компенсації неактивної потужності  $Q_{\text{ф}}$ , де  $I(t)$ ,  $I_{\text{к}}(t)$ ,  $I_{\text{е}}(t)$  – струми відповідно тягової мережі (ТМ), компенсуючого пристрою, одиниці ЕРС;  $G_{\text{к}}(t)$ ,  $G_{\text{е}}(t)$  – параметричні провідності відповідно компенсатора і ЕРС.

А для наближення форми струму  $I(t)$  до форми напруги  $U(t)$  необхідно виконання такої умови (що випливає із (4)): щоб шукана провідність компенсуючого пристрою дорівнювала:

$$G_{\text{к}}(t) = G_{\text{к}\sim}(t) = -G_{\text{е}\sim}(t), \quad (5)$$

що є першою умовою синтезу схеми компенсуючого пристрою.

Далі визначимо формулу  $I_K(t)$ , згідно з законом Ома та виразом (4), запишемо

$$I(t) = G_{\Sigma}(t)U(t) = (G_{K\sim}(t) + G_{e0} + G_{e\sim}(t))U(t). \quad (6)$$

З урахуванням умови (5) вираз (6) прийме вигляд

$$I(t) = G_{e0}U(t). \quad (7)$$

Одночасно, для вузла схеми рис. 1 за першим законом Кірхгофа маємо:

$$I(t) = I_K(t) + I_e(t). \quad (8)$$

Прирівнявши (7) і (8), отримаємо

$$I_K(t) = -I_e(t) + G_{e0}U(t). \quad (9)$$

$$\text{де } G_{e0} = \frac{P_e}{U_D^2}, \quad (10)$$

де  $P_e$  – потужність споживана ЕРС;

$U_D$  – діюче за термін  $[0...t]$  значення напруги  $U(t)$ .

Підставивши (10) в (9), отримуємо остаточний вираз струму  $I_K(t)$ , який повинен «генерувати» компенсуючий пристрій

$$I_K(t) = -I_e(t) + \frac{P_e}{U_D^2}U(t), \quad (11)$$

звідки «нове» (після вмикання компенсатора) значення струму в ТМ буде:

$$I'(t) = \frac{P_e}{U_D^2}U(t), \quad (12)$$

а його діюче значення буде  $I'_D(t)$ . Помноживши (11) на  $U(t)$ , визначимо миттєву потужність компенсатора

$$p_K(t) = U(t)I_K(t) = -U(t)I_e(t) + \frac{P_e}{U_D^2}U^2(t), \quad (13)$$

$$U(t)I_e(t) = p_e(t), \quad (14)$$

де  $p_e(t)$  – миттєва потужність ЕРС, тоді активна потужність  $P_e$  ЕРС визначиться як

$$P_e = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} p_e(t) dt. \quad (15)$$

Із наведених міркувань і отриманого виразу (11) випливає така методика визначення струму  $I_K(t)$  компенсатора.

1. Здійснюємо синхронний моніторинг (за добу чи за місяць – це термін  $[0...t]$ ) напруги  $U(t)$  на виході ТП і на струмоприймачі ЕРС, а також його струму  $I_e(t)$  і в тяговій мережі  $I(t)$ ; до вмикання компенсатора  $I(t) = I_e(t)$ .

2. Визначаємо їх діючі за  $[0...t]$  значення  $U_D(t)$  та  $I_{eD}(t) = I_D(t)$ , а також установлену (повну) потужність ТП (до вмикання КП):  $S = U_D(t)I_D(t)$ .

3. Визначаємо функцію миттєвої потужності  $p_e(t)$  ЕРС за виразом (14).

4. Знаходимо за формулою (15) активну потужність  $P_e$ , що споживає ЕРС; ця величина  $P_e$  дорівнює потужності ТП  $P_{TP}$  (до вмикання компенсатора).

5. Користуючись виразом (11), визначаємо функцію миттєвого струму  $I_K(t)$  компенсатора.

6. Визначаємо миттєву потужність компенсатора  $p_K(t)$  за формулою (13).

7. Знаходимо сумарну миттєву потужність  $p_{\Sigma}(t)$  компенсатора та ЕРС.

8. Визначаємо «нове» значення активної потужності  $P_{\Sigma}$  ТП за виразом  $P_{\Sigma} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} p_{\Sigma}(t) dt$ .

9. Визначаємо «нове» значення установленної потужності ТП  $S' = U(t)I'_D(t)$  і переконаємося, що воно менше значення  $S$ , яке було до вмикання компенсатора. Тобто, якщо струм компенсатора  $I_K(t)$  буде «генеруватись» за виразом (11), тоді ефект компенсації реактивної потужності  $Q_{\Phi}$  (по Фризе) буде досягнуто.

#### Результати застосування розробленої методики

Нижче, на рис. 2, в якості прикладу, застосовано викладену методику для визначення  $I_K(t)$  та інших величин для реальної ділянки Письменна – Ул'янівка, на якій експлуатуються

електровози ДЕ1 (ДЕ1 №007, машиніст Яровий та ДЕ1 №003, машиніст Стефашин) та інші.

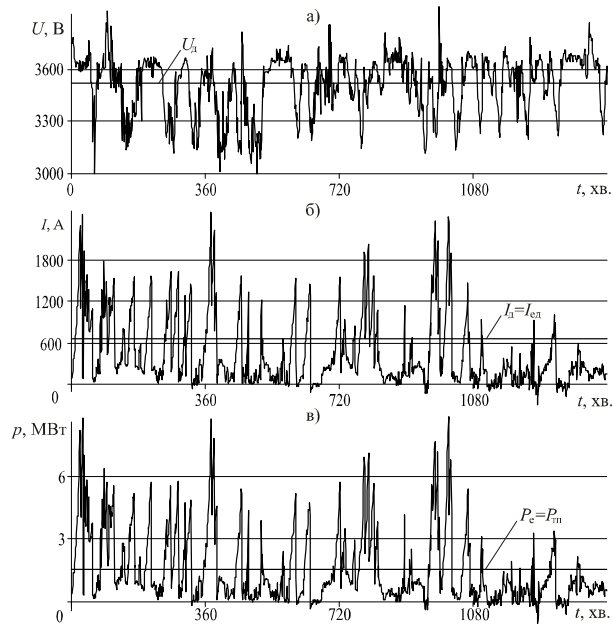


Рис. 2. Регістрограми та діючі значення напруги (а), струму (б), функція та середньоарифметичне значення миттєвої потужності ЕРС (в), струм компенсатора (г) та мережі після його увімкнення (д), функція миттєвої потужності компенсатора (е), функція та середньоарифметичне значення миттєвої потужності ТП (ж) після вмикання компенсатора.

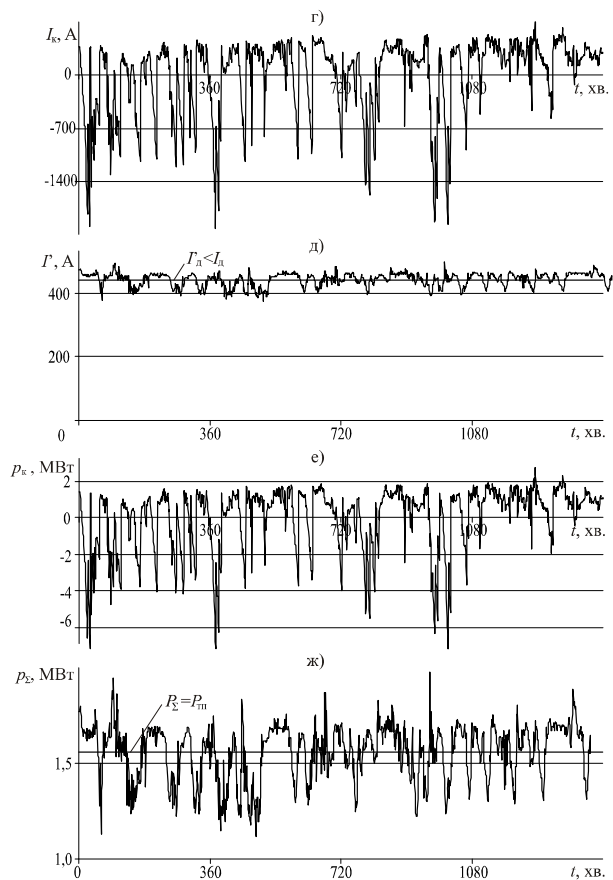


Рис. 2.

## Висновок

Розроблена методика є потужним засобом структурно-параметричного синтезу компенсуючих пристроїв, що являють собою адаптивні системи слідування за миттєвими значеннями напруги і струму.

## БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Петров А. В. Непродуктивні втрати електроенергії в тяговому електропостачанні системи постійного струму / А. В. Петров, М. О. Костін // Вісник ДНУЗТ. – 2010. – № 31. – С. 106-110.
2. Петров А. В. Методи спектрального аналізу випадкових технологічних коливань напруги та струму фідера ТП постійного струму / А. В. Петров // Вісник ДНУЗТ. – 2010. – № 34. – С. 77-80.
3. Тонкаль В. Е. Компенсация неактивных составляющих полной мощности в цепях несинусоидального тока и напряжения / В. Е. Тонкаль, В. Я. Жуйков, С. П. Денисюк [и др.] // Техническая электродинамика. – К.: Наук. думка, 1989. – №5. – С. 26-29.

## ВИЗНАЧЕННЯ НИЗЬКООМНИХ ОПОР КОНТАКТНОЇ МЕРЕЖІ, ОБ'ЄДНАНИХ ГРУПОВИМ ЗАЗЕМЛЕННЯМ

*Представив д.т.н., професор Гетьман Г.К.*

### Вступ

Несучі конструкції контактної мережі, до яких належать опори, є відповідальними резервованими елементами системи електропостачання електричних залізниць. Надійність опор контактної мережі визначає безперервність і безпеку руху потягів. Тому питанням міцності залізобетонним опорним конструкціям приділялася особлива увага завжди як на стадії розробки і проектування, так і на стадії виготовлення і експлуатації.

На Укрзалізниці в 2009 році експлуатується 26% опор з терміном служби більше 40 років. В порівнянні з 2007 роком кількість їх збільшилася на 10%. У 2008 році замінено усього 3,0% від усіх опор, які знаходяться в експлуатації більше 40 років. Якби не проводилася електрифікація нових ділянок, відсоток опор з терміном експлуатації більше 40 років був би ще значно вищий. План по заміні опор контактної мережі в цілому по господарствах виконаний на 143,9%. Але, не дивлячись на це, з такими темпами заміна тільки опор, які вже експлуатуються більше усередненого терміну, знадобиться майже 37 років. 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 2008 році план по діагностиці виконаний на 115,7%. При цьому було виявлено 73 дефектних опори які були замінені в першу чергу. [1]

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 дротів 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 3% від загальної кількості опор.

Питання удосконалення і розробки нових методів діагностики більш точних і ефективних менш праце ємних не викликає сумніву в актуальності[2]. Особливо знаходження низькоомних опор об'єднаних груповим заземленням.

### Основна частина

Для нового методу основною задачею є якісне знаходження несправної низькоомної опори або декілька опор без від'єднання їх від троса групового заземлення. Метод базується на аналізі електричних параметрів кола при різкій зміні перехідного опору «трос-земля» у місці приєднання опори до троса групового заземлення(ТГЗ). Для чого використовують стороннє джерело живлення змінного струму підвищеної частоти.

Метод базується на зміні індуктивного та ємнісного 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.

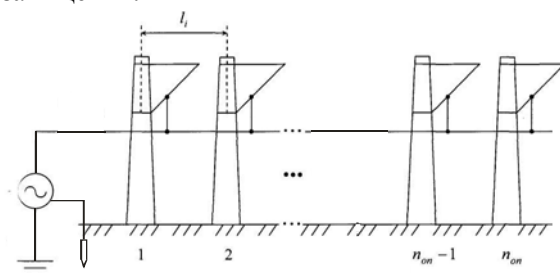


Рис.1. Підключення генератора змінного струму у коло з груповим заземленням

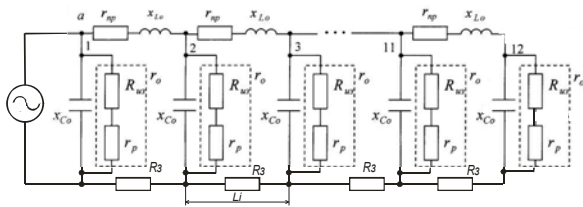


Рис.2. Схема заміщення опор контактної мережі з груповим заземленням.

Із схеми (рис.2) видно, що при зміні одного опору 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].

Залежно від значення частоти  $f$  джерела  $U_c$  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 опору при ушкодженні ізоляції бетону в одній з опор, позначається лише на зменшенні їх сумарного опору. Виявити адресу конкретної опори 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  $R_{i3} \rightarrow 0$ , 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 пошкодженої опори від джерела  $U_c$  тобто від довжини ТГЗ.

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

$R_{i3}$  – опір між закладною деталлю та арматурою опори;

$R_p$  – опір розтікання;

$R_3$  – опір землі;

$r_{np}$  – активний опір провoda троса групового заземлення, як правило використовують трос ПБСМ-70;

$X_L$  – індуктивний опір троса групового заземлення;

$X_C$  – ємкісний опір справної опори.

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

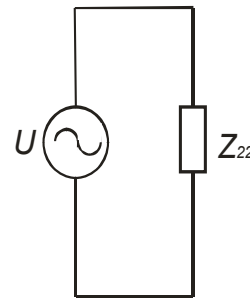


Рис. 3. Еквівалентна приведена схема.

Розрахуємо індуктивний та ємкісний опори для стороннього джерела живлення при частоті 10 кГц.

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

Як правило ТГЗ виконують 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, висоті 5м та 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 опори дорівнює  $X_{cn} = 2 \cdot X_C = 108 \text{ кОм}$ .

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

Активний опір кожної опори складається:

$$R_0 = R_{iz} + R_p$$

$R_{iz}$  – опір ізоляції бетону, тобто опір між закладним болтом та арматурою.

Для кожної опори дорівнює 10 кОм,

$R_p$  – опір розтікання підземної частини опори. Він дорівнює 30-150 Ом.

За приклад візьмемо 100 Ом.

Розрахунки виконаємо для декількох частот 10 кГц; 50 кГц; 100 кГц та виберемо оптимальну.

Напруга, що подається у систему дорівнює 30В.

Спочатку виконаємо експериментальні розрахунки з низькоомною опорою №11, це означає що опір  $R_{iz} = 0$ , знайдемо опір опори

$$R_0 = R_{iz} + R_p = 0 + 100 = 100 \text{ Ом}$$

Активний опір опори №11 з'єднаний паралельно з її ємкісним 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 ділянці 50 м, тобто до опори №10:

$$Z_{211} = X_l + Z_{11} + R_c$$

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

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.

Таблиця 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 знайти 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

$$I_{11} = \frac{U}{Z_{22_{11}}}$$

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

$$I_{2,11} = \frac{U - I_{1,11} \cdot (Xl + R_C)}{Z_{20,11}} = \frac{30 - (2.659 \cdot 10^{-3} + 1.557 \cdot 10^{-4} j) \cdot (4.396 j + 6000)}{1.125 \cdot 10^4 - 658.689 j} = 1.125 \cdot 10^{-3} - 1.091 \cdot 10^{-5} j$$

$$I_{3,11} = \frac{U - (I_{1,11} + I_{2,11}) \cdot (Xl + R_C)}{Z_{18,11}},$$

$$I_{3,11} = 5.85 \cdot 10^{-4} - 4.452 \cdot 10^{-5} j$$

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.

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

Також виконаємо аналогічні розрахунки якщо у електричне коло з ТГЗ включити стороннє джерело живлення з частотою 50 кГц та 100 кГц. Результати занесемо до таблиць.

Таблиця 2

Значення струму в контурах в залежності від знаходження пошкодженої опори

I5	I4	I3	I2	I1	Струм в контурах, мкА															
					Довжина до джерела живлення, м															
2666	2680	2745	3065	4919	0															
1256	1279	1387	1906	43.28	50															
599.2	645.9	862.4	16.77	20.31	100															
302.7	401.7	7.588	7.873	9.535	150															
188.3	3.535	3.562	3.696	4.476	200															
1.656	1.659	1.672	1.735	2.101	250															
0.7772	0.7785	0.7844	0.8139	0.9857	300															
0.3642	0.3648	0.3676	0.3814	0.4619	350															
0.1696	0.1699	0.1712	0.1776	0.2151	400															
0.07665	0.07677	0.07736	0.08027	0.09721	450															
0.02952	0.02957	0.0298	0.03091	0.03744	500															

I3, 5 та	I3 та 7	I1 та I1	I11	I10	I9	I8	I7	I6
3442	3442	4919	2663	2663	2663	2663	2663	2664
1330	1330	43.28	1250	1250	1250	1250	125	1251
679.1	679.1	20.31	586.7	586.7	586.7	586.8	587.2	589.3
7.694	7.774	9.535	275.4	275.4	275.4	275.6	276.6	281.2
3.93	2.964	4.476	129.3	129.3	129.4	129.8	132	142
0.045	1.145	2.101	60.68	60.73	60.94	61.94	66.66	88.34
0.02274	0.5849	0.9869	28.5	28.6	29.08	31.29	41.46	0.7769
0.00026	0.00671	0.4649	13.43	13.65	14.69	19.46	0.3638	0.364
0.0001	0.00258	0.2218	6.406	6.894	9.135	0.1688	0.1694	0.1695
0.00004	0.001	0.112	3.236	4.288	0.07505	0.07629	0.07656	0.07661
0.00001	0.0004	0.06968	2.012	0.02686	0.02891	0.02938	0.02949	0.02951

Таблиця 3

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

I5	I4	I3	I2	I1	Струм в контурах, мкА																
					Довжина до джерела живлення, м																
2983	2978	2981	3171	4919	0																
1306	1308	1372	1866	48,48	50																
573,8	602,1	807,5	18,4	21,25	100																
264,1	354,3	7,96	8,064	9,316	150																
155,4	3,492	3,489	5,535	4,084	200																
1,532	1,531	1,529	1,549	1,79	250																
0,6718	0,6712	0,6706	0,6793	0,7848	300																
0,2947	0,2945	0,2942	0,298	0,3443	350																
0,1293	0,1292	0,1291	0,1308	0,1511	400																
0,0559	0,05586	0,0558	0,05653	0,06531	450																
0,02108	0,02107	0,02105	0,02132	0,02463	500																

13, 5 та 7	13 та 7	11 та 11	111	110	19	18	17	16
2981	2981	4919	2986	2986	2986	2986	2986	2986
1372	1372	48,48	1309	1309	1309	1309	1309	1308
807,6	807,5	21,25	573,7	573,7	573,7	573,7	573,4	572,7
8,448	7,938	9,316	251,5	251,5	251,5	251,3	251,1	251,6
4,972	3,487	4,083	110,2	110,2	110,2	110	110,3	115,8
0,052	1,605	1,79	48,32	48,29	48,24	48,34	50,76	68,15
0,031	0,9446	0,7842	21,17	21,15	21,19	22,25	29,87	0,672
0,0003	0,00933	0,3434	9,269	9,289	9,754	13,09	0,2949	0,2948
0,00013	0,0041	0,1508	4,072	4,276	5,74	0,1295	0,1294	0,1293
0,00006	0,00177	0,06943	1,874	2,516	0,05589	0,05601	0,05595	0,05592
0,00002	0,00067	0,04085	1,103	0,02007	0,02108	0,02112	0,0211	0,02109

Таблиця 4.

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

I5	I4	I3	I2	I1	Струм в контурах, мкА	Довжина до джерела живлення, м													
						0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500			
3477	3473	3442	3437	4919	0														
1333	1324	1330	1756	56,37	50														
508,2	511,6	679,1	20,12	21,63	100														
196,3	261,3	7,783	7,72	8,299	150														
100,3	2,995	2,986	2,962	3,184	200														
1,149	1,149	1,146	1,136	1,222	250														
0,4409	0,4408	0,4396	0,436	0,4687	300														
0,1692	0,1692	0,1687	0,1673	0,1799	350														
0,06512	0,0651	0,06491	0,06439	0,06921	400														
0,02518	0,02518	0,0251	0,0249	0,02677	450														
0,00089	0,00894	0,00891	0,00884	0,0095	500														

13, 5 та 7	13 та 7	11 та 11	111	110	19	18	17	16
3442	3442	4919	3477	3477	3477	3477	3477	3477
1330	1330	56,37	1334	1334	1334	1334	1334	1334
679,1	679,1	21,63	511,8	511,8	511,8	511,8	511,8	511,3
7,694	7,774	8,299	196,4	196,4	196,4	196,4	196,2	195
3,93	2,964	3,184	75,34	75,34	75,34	75,27	74,81	75,33
0,04453	1,145	1,222	28,91	28,91	28,88	28,7	28,9	38,47
0,02274	0,5849	0,4687	11,09	11,08	11,01	11,09	14,76	0,4409
0,00026	0,00671	0,1796	4,251	4,225	4,254	5,663	0,1692	0,1692
0,0001	0,00258	0,0685	1,621	1,632	2,173	0,0652	0,06511	0,06511
0,00004	0,001	0,02646	0,6262	0,8337	0,02536	0,02521	0,02518	0,02518
0,00001	0,000354	0,01352	0,3198	0,0089	0,009	0,00895	0,00894	0,00894

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

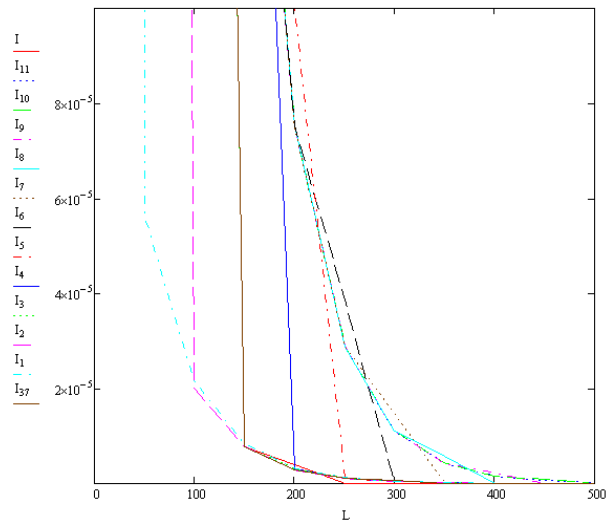


Рис. 4. Розподіл струмів у електричному колі ТГЗ в залежності від знаходження пошкодженої опори при частоті джерела живлення 100кГц.

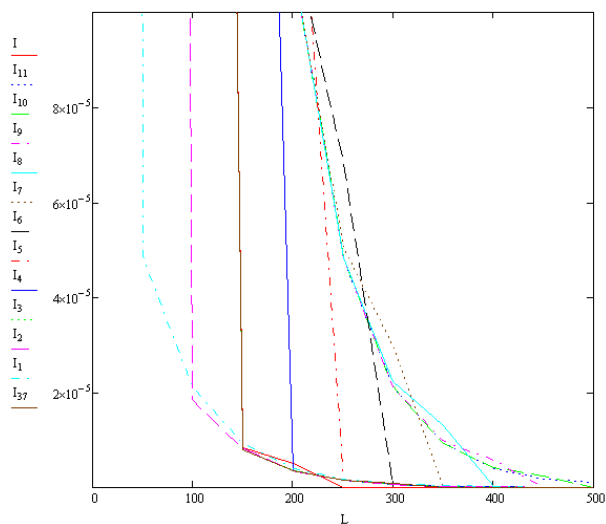


Рис. 5. Струмозподілення в електричному колі ТГЗ в залежності від знаходження пошкодженої опори при частоті джерела живлення 50 кГц

### Висновок

Виконані розрахунки електричної схеми заміщення опор контактної мережі з'єднаних тросом групового заземлення. Знайдені струми в контурах цієї схеми дають змогу визначити пошкоджену опору за графіками.

В роботі проведено дослідження та розробка нового методу знаходження низькоомних опор контактної мережі об'єднаних груповим заземленням без їх від'єднання від групового заземлення.

З аналізу розрахунків наведених вище можна прийти до таких висновків:

- 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;

- порівнявши графіки струмів розрахункові з отриманими при вимірюванні (які виводяться на монітор комп'ютера, приєднаного до генератора), можна визначити опору або декілька опор низькоомних, тобто пошкоджену якщо більше одної то пошкоджених.

Запропонований метод базується на аналізі електричних параметрів кола при різкій зміні перехідного опору «трос-земля» у місці приєднання опори до троса групового заземлення (ТГЗ). Для чого використовують стороннє джерело живлення змінного струму підвищеної частоти. І таким чином зменшується час на знаходження низькоомної опори.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2008 році [Текст] / Мінтрансв'язку України. – К., 2009. – 182 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.

## РАЦИОНАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ТЯГОВОГО СРЕДСТВА В ПРОЦЕССЕ ДВИЖЕНИЯ

Представив д.т.н., профессор Костін М.О.

На эксплуатируемых в Украине электровозах постоянного тока (ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11, ДЭ1, ЧС2, ЧС7) регулирование силы тяги и скорости движения осуществляется на основе дискретной системы регулирования мощности, в которой предусмотрено три схемы соединения тяговых электродвигателей (ТЭД) в тяговом режиме. С точки зрения потерь электроэнергии от неравномерного электропотребления такая система является весьма неэффективной [1]. Очень часто при неполновесных составах электровоз с дискретным регулированием мощности обладает избыточной мощностью, которой, как известно, пропорциональны потери электроэнергии [2, 3]. Рассматривая тяговые характеристики электровоза ВЛ8 (рис. 1), и сопоставляя их, например, для схемы СП (возбуждение 36%) и П (возбуждение 100%) видно, что на плоскости возможных мощностей  $F \cdot v$  электровоза существует так называемая не перекрытая область регулирования мощности (заштрихованная), в которой отсутствуют естественные характеристики.

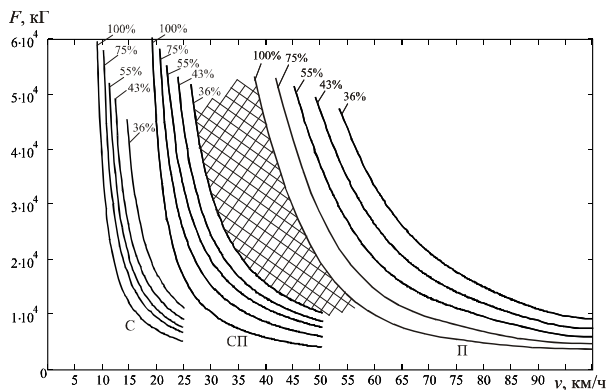


Рис. 1. Тяговые характеристики электровоза ВЛ8 для напряжений на тяговых двигателях 375 В, 750 В, 1500 В

Реостатные характеристики, существующие в этой области, предназначены лишь для кратковременной работы, поскольку неэкономичны и длительность работы на них ограничена нагревом резисторов. В результате этого при установившейся работе электровоза с поездом в определенном диапазоне скоростей в этой области существует значительное расхождение между возможной силой сопротивления движению  $W$  и реализуемой силой тяги  $F$ , что в данном диа-

пазоне скоростей на СП соединении ТЭД будет обусловлено недостаточной, а на П — избыточной мощностью тягового средства [4].

С другой стороны известно, что у широкорегулируемого тягового электропривода при номинальном напряжении максимум к.п.д., а соответственно и минимум потерь имеют место при номинальной нагрузке двигателя. Например, для ТЭД НБ-406 номинальные величины составляют [5]: напряжение на зажимах двигателя  $U_{ном} = 1500$  В; ток якоря двигателя  $I_{яном} = 340$  А; к.п.д. при этом  $\eta_{ном} = 93,2$  %. Таким образом, наиболее экономичный режим работы ТЭД возможен на П соединении, т.е. при номинальном напряжении на зажимах двигателя.

Зависимость к.п.д. от тока  $\eta(I)$  ТЭД для номинального напряжения  $U_{ном} = 1500$  В рассчитывают при помощи выражения [6]

$$\eta(I) = \frac{F_{кд}(I)v(I)}{U_{ном} I},$$

где зависимости силы тяги ТЭД и скорости от тока, соответственно  $F_{кд}(I)$  и  $v(I)$ , получают на основании пересчета зависимостей момента на валу ТЭД  $M(I)$  и частоты вращения вала  $n(I)$  от тока по выражениям

$$F_{кд}(I) = \frac{2\mu}{D} M(I), \quad v(I) = 0,188 \frac{D}{\mu} n(I),$$

где  $D$  — диаметр бандажа колесной пары;  $\mu$  — передаточное отношение зубчатой передачи. Электромеханические характеристики  $M(I)$  и  $n(I)$  двигателя на валу получают экспериментально или из магнитной характеристики  $c\Phi(I)$  [6].

Для повышения к.п.д. тяговых двигателей, выравнивания тяговой нагрузки ЭПС в системе тягового электроснабжения, тем самым для повышения коэффициента мощности ЭПС, в незаполненную область мощности между характеристиками СП (возбуждение 36 %) и П (возбуждение 100 %) предлагается ввести дополнительные промежуточные естественные (ходовые) тяговые характеристики. Они могут быть получены оперативным выводением (вре-

менным, в процессе движения, с последующим, при необходимости оперативным восстановлением) групп двигателей (по два двигателя в ветви) при П – соединении согласно схеме рис. 2. Это повысит регулируемость и расширит диапазон регулирования мощности ЭПС (на примере электровоза ВЛ8).

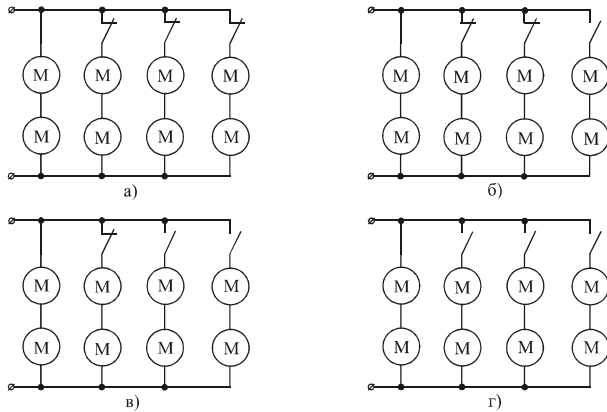


Рис. 2. Схемы выведения групп тяговых двигателей при номинальном напряжении на двигателе 1500 В

В результате получаем, что схема рис. 2 (а) это обычное П – соединение ТЭД, когда электровоз работает на 8 двигателях; схема рис. 2 (б) – схема с выведенной одной группой двигателей, когда электровоз работает на 6 двигателях при том же напряжении, и т.д. Минимальное количество двигателей в данном случае – два (рис. 2, г). В результате получаем, что сила тяги  $F'$  на измененной схеме (для приведенных 4 случаев рис. 2) электровоза определяется как отношение силы тяги  $F$  на П – соединении к общему числу параллельных ветвей ТЭД (четыре) умноженных на количество оставленных ветвей:

$$\text{а) } F' = F; \quad \text{б) } F' = \frac{3}{4}F; \quad \text{в) } F' = \frac{1}{2}F; \quad \text{г) } F' = \frac{1}{4}F.$$

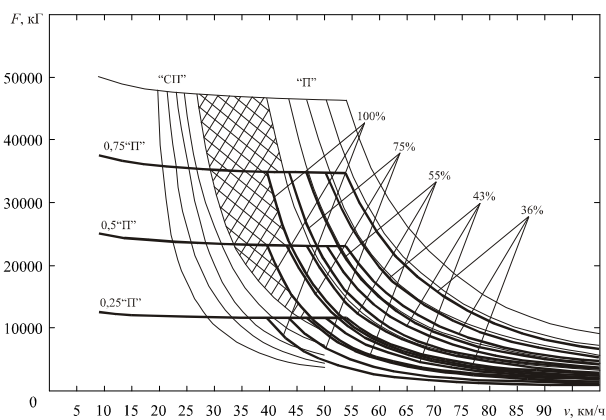


Рис. 3. Дополнительные тяговые характеристики электровоза ВЛ8, полученные выведением одной группы двигателей при номинальном напряжении на двигателе 1500 В

На тяговых характеристиках электровоза, таким образом, появляются дополнительные естественные характеристики  $F'(v)$ , а незаполненная естественными характеристиками область частично заполняется (рис. 3).

Как видно, полученные дополнительные характеристики приблизительно на 40 % заполняют нерегулируемую область мощности в области скоростей 40...70 км/ч, и таким образом расширяют диапазон рационального регулирования мощности ЭПС в этой области. Кроме этого, некоторые новые характеристики в определенной области скоростей практически совпадают с исходными характеристиками, например (П, ОП1) и (0,75П, ОП2) и т.д., из чего следует, что при равных скоростях движения электровоза на 8 двигателях с полным возбуждением будет реализовываться та же мощность (сила тяги), что и при работе электровоза на 6 двигателях без перегрузки с ослаблением возбуждения 55 %.

Энергоэффективный из рассмотренных двух равных по мощности режимов работы электровоза определим на основании к.п.д. тяговых двигателей. При равных весах поездов и сопротивлении движению при работе электровоза на шести тяговых двигателях вместо восьми (при  $U_{ТЭД} = 1500 \text{ В}$ ), двигатели будут на 25 % более загружены и т.о. потреблять большие токи. Тем не менее, работая в области допустимых токов (без перегрузки), согласно электромеханическим характеристикам имеем:  $\eta(I)_{ОП1} > \eta(I)_{ПП}$ ,  $\eta(I)_{ОП2} > \eta(I)_{ОП1}$  и т.д. в области больших токов двигателя. То есть, при неполновесных поездах применение данного алгоритма регулирования целесообразно. В случае работы электровоза на восьми двигателях они могут быть недогружены, работая в зоне пониженных к.п.д. Для сравнения эффективности равных тяговых характеристик определим к.п.д. электровоза ВЛ8 при помощи электромеханических характеристик ТЭД  $F_{кд}(I)$  и  $v(I)$  для случая работы на восьми ТЭД на характеристике П, ОП1 и для того же электровоза при работе на шести ТЭД на характеристике 0,75П, ОП2 согласно выражению [6]

$$\eta_3(I_3) = \frac{nF_{кд}(I)v(I_3)}{UI_3}, \quad (*)$$

где  $n$  – количество задействованных ТЭД;

$I_3$  – ток электровоза;

$I$  – ток тягового двигателя;

$U$  – напряжение на токоприемнике электровоза (3000 В);

$F_{\text{кд}}$  – сила тяги одного ТЭД.

При работе электровоза на восьми ТЭД (четырёх ветвях)  $I_3 = 4I$ ; при работе на шести ТЭД (трех ветвях)  $I_3 = 3I$ .

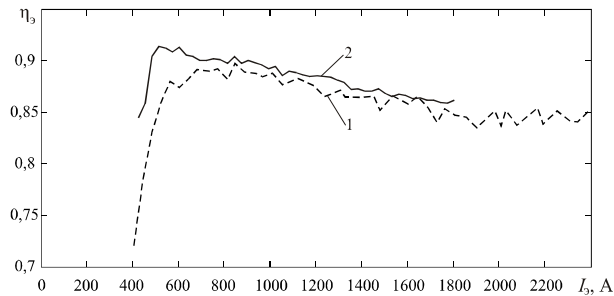
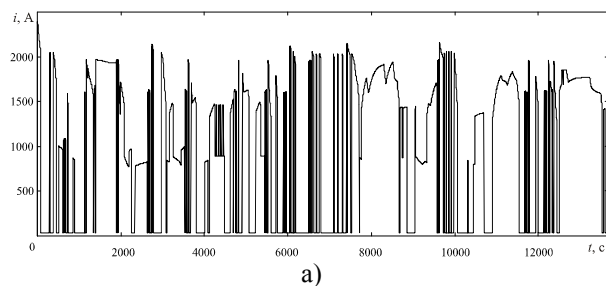


Рис. 4 – Зависимости к.п.д. электровоза от потребляемого тока при напряжении на ТЭД 1500 В: 1 – при работе на восьми тяговых двигателях с ОП1; 2 – при работе на шести тяговых двигателях с ОП2

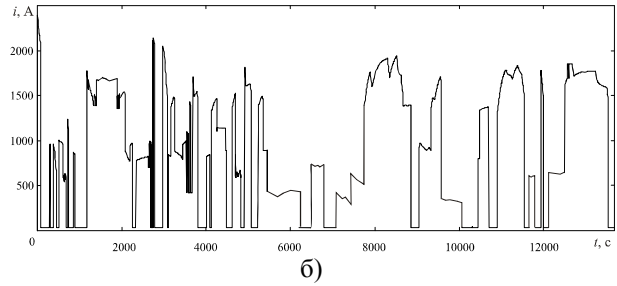
Как видно из рис. 4, полученная по (\*) характеристика  $\eta_3(I_3)$  для случая работы электровоза ВЛ8 в режиме ОП1 на восьми ТЭД (при напряжении на двигателе 1500 В) лежит несколько ниже той же характеристики электровоза при работе на шести двигателях в режиме ОП2 при том же напряжении на ТЭД, а поэтому второй режим будет более экономичным – с более высоким к.п.д.

Таким образом, применяя изложенный принцип оперативного временного отключения (при необходимости) параллельных ветвей ТЭД при параллельном соединении можно улучшить регулировочные свойства ЭПС, осуществить работу ЭПС в зоне высоких к.п.д., а также создать рациональную загрузку ТЭД при неполновесных поездках и на участках с легким профилем, что особенно эффективно для поддержания скорости движения поезда.

Для сравнения, на примере электровоза ВЛ8 были осуществлены тяговые расчеты для обычной системы регулирования мощности и предложенной расширенной для одного из участков Приднепровской железной дороги (Пятихатки-Чаплино). Графики тягового тока электровоза  $i(t)$  приведены на рис. 5.



а)



б)

Рис. 5 – Графики изменения потребляемого тягового тока электровоза ВЛ8 при обычной схеме регулирования скорости (а) и при возможности в схеме отключать ветви тяговых двигателей (б)

Из рис. 5 следует, что при модифицированной схеме (при возможности отключать ветви ТЭД) форма тягового тока электровоза  $i(t)$  улучшается (рис. 5, б), т.е. имеет менее импульсный характер и более равномерный в сравнении с формой тока  $i(t)$  при обычной схеме регулирования (рис. 5, а). Необходимо отметить, что время хода поезда не изменилось, поскольку дополнительные схемы (рис. 2, б – г) не исключают основную схему (рис. 2, а), а лишь дополняют ее и используются для поддержания скорости поезда электровозом с дискретным регулированием мощности. Дополнительные характеристики позволяют не переходить часто из тяги на выбег при превышении силы тяги над сопротивлением движению, поскольку позволяют подобрать силу тяги с меньшим отклонением от силы сопротивления движению и работать в тяге, потребляя равномерно меньшие токи. Сравнительные характеристики для приведенного тягового расчета приведены в табл. 1, где схема 1 – это существующая схема регулирования скорости электровоза ВЛ8, а схема 2 – схема с возможностью отключения ТЭД.

Таблица 1

Схема	Действующее значение тока электровоза за поездку, А	Среднее значение к.п.д.	Среднее значение коэффициента мощности	Расход электроэнергии в относительных единицах
1	1229	0,82	0,70	1,0
2	1054	0,84	0,79	0,98

Таким образом, предложенная система регулирования позволяет повысить коэффициент мощности ЭПС, стабилизировать тяговую нагрузку, снизить действующее значение тока ЭПС, а тем самым и потери в его силовой цепи и контактной сети, особенно при неполновесных составах. Для реализации данного принци-

па отключения групп ТЭД на параллельном соединении необходимо лишь для существующих в силовой цепи контакторов (их блокировка) предусмотреть на пульте машиниста три кнопки оперативного вывода по одной группе ТЭД, для чего в цепях управления электровоза необходимо произвести несущественные изменения.

Отключение части ветвей с ТЭД имеет также своим преимуществом возможность перехода с одной группы работающих двигателей, у которых температура близка к максимально допустимой, на другую группу двигателей, до этого отключенных (холодных), что облегчает работу ТЭД. Критерием перехода может служить нагрев двигателей, который контролируется темодатчиками. Для этого необходима специальная система управления. Также отключение части ТЭД позволяет минимизировать число коммутаций в силовой цепи, когда благодаря дополнительным тяговым характеристикам ЭПС с дискретным регулированием мощности сила тяги может быть подобрана с меньшим отклонением от силы сопротивления движению, что невозможно при обычной системе регулирования. Это, в свою очередь, продлевает ресурс силовых контакторов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабич В. М. Оптимальное регулирование мощности многоосного сцепа в тяге / В. М. Бабич, А. Н. Крыгин // Тезисы докладов «Состояние и перспективы развития электровозостроения в стране». – Новочеркасск, 1991. – С. 12-13.
2. Гетьман Г. К. Выбор оптимальных параметров электровозов для грузовых перевозок / Г. К. Гетьман // Залізничний транспорт України. – 2000. – №3. – С. 47-51.
3. Гетьман Г. К. Метод расчета оптимальных мощностей тягового подвижного состава при дискретном распределении массы поездов / Г. К. Гетьман // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1999. – № 2. – С. 44-47.
4. Сорокин С.В. Анализ потерь электроэнергии в электровозе ВЛ80С и экономия энергозатрат при секционном регулировании / С. В. Сорокин, В. В. Ширяев // Тезисы докладов «Состояние и перспективы развития электровозостроения в стране». – Новочеркасск, 1991. – С. 13-14.
5. Электровоз ВЛ8. Руководство по эксплуатации. – М.: Транспорт, 1973. – 311 с.
6. Теория электрической тяги: учебник [для студ. вузов] / Розенфельд В. Е., Исаев И. П., Сидоров Н. Н., Озеров М. И. – М.: Транспорт, 1995. – 328 с.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА КОНТАКТНЫХ ПАР УСТРОЙСТВ ТОКОСЪЕМА МОНОРЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Актуальной проблемой при создании монорельсовых транспортных систем является задача надежной и экономичной передачи электроэнергии подвижному составу. Контактные пары устройств токосъема монорельсового транспорта подвержены повышенному электромеханическому износу. Одним из путей повышения срока их службы является выбор материалов, наиболее отвечающих требованиям качества токосъема.

В ОмГУПСе разработана методика исследования износа контактных пар устройств токосъема [1], которая реализуется на специализированной установке [2] возвратно-поступательного типа (рис. 1), используемой для исследования контактных пар со сложной геометрической поверхностью, характерных для систем токосъема монорельсового транспорта. Для реализации методики исследований конструкция установки предусматривает использование различных модулей: для исследования силы трения в скользящем контакте, для моделирования ударных процессов при прохождении токоприемником стыковых зон токопровода, для исследования износа при высоких или низких температурах и др.

Механическая часть установки включает в себя станину, на которой установлены направ-

ляющие, сочлененные со скользянами и закрепленной на них подвижной кареткой 4. На каретке закреплен токоприемник с контактным элементом 3, взаимодействующий с отрезком токопровода 1, закрепленным на изолирующей пластине 2. Возвратно-поступательное перемещение каретки 4 осуществляется с помощью привода вращения, связанного с кареткой тягой 7, блок 8 предназначен для подключения перечисленных выше модулей. Помимо возвратно-поступательного установка позволяет проводить исследования при одностороннем движении, т.е. имитировать реальный процесс движения в одном направлении. Процесс движения в одну сторону реализуется с помощью копира 6, который устанавливается на тяге. При движении ролика 5 по поверхности копира токопровод поднимается и половину периода вращения привода элементы трибосистемы не взаимодействуют. При реализации возвратно-поступательного режима работы установки в зоне контакта образуется значительное количество частиц износа, воздействующих на элементы контактной пары как абразив. Односторонний режим движения соответствует реальному процессу взаимодействия.

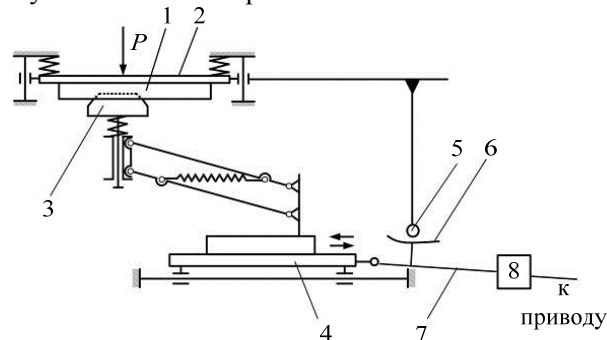


Рис. 1. Специализированная установка ОмГУПС для исследования трения контактных пар

Методика экспериментальных исследований реализуется по следующим направлениям:

- оценка работоспособности трибосистемы «контактный элемент – токоприемник» при различных сочетаниях материалов и режимов испытания, соответствующих натурному узлу;

- сравнительные испытания пар трения с целью выявления наиболее отвечающих процессу эксплуатации;

- анализ чувствительности, т.е. точное определение такого сочетания внешних факторов и их значений, при котором обеспечиваются наилучшие выходные характеристики всей трибосистемы.

мы; выявление функциональных соотношений между факторами и откликом системы;

– прогнозирование фрикционно-износных характеристик узла трения.

Методика исследований была реализована при возвратно-поступательном и при однонаправленном движении элементов трибосистемы. Анализ результатов исследований показывает, что зависимости изнашивания элементов трибосистемы от нажатия при указанных режимах исследования имеют одинаковую форму, но значения износа различны. Это обусловлено тем, что при возвратно-поступательном движении в зоне трения образуются мелкодисперсные частицы изнашивания,

обладающие свойствами поверхностно активных веществ (избирательный перенос), либо представляющими собой частицы абразива, которые приводят к интенсивному износу.

Графики изнашивания материалов контактных пар при наличии в контакте токовой нагрузки при переменном и постоянном токе (с анодно- и катодно-поляризованным контактным элементом) приведены на рис. 2. На рис.2 приняты следующие обозначения: 1 – переменный ток; 2 и 3 – постоянный ток (соответственно 2 – анодно-поляризованный, 3 – катодно-поляризованный КЭ)

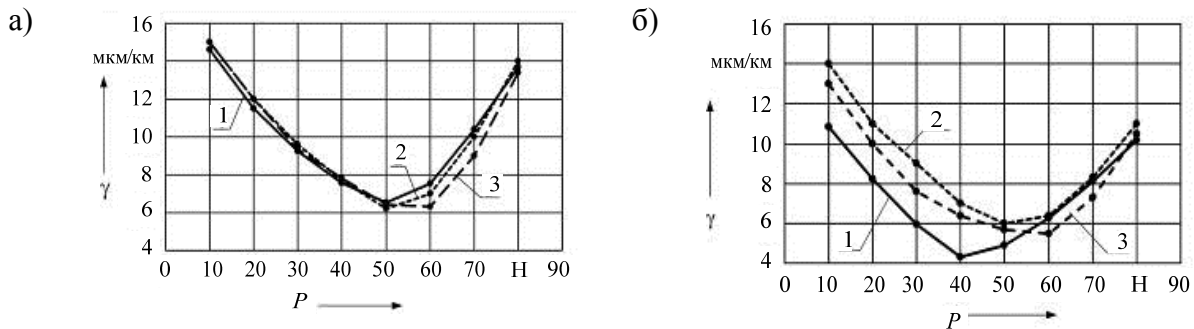


Рис. 2. Электромеханический износ при токовой нагрузке ( $I = 250$  А):  
а – меднографитового КЭ; б – КЭ из бронзы

Особый интерес представляют результаты исследований износа КЭ из металлокерамики. Выявлено, что в случае отсутствия тока в контакте происходит интенсивное изнашивание КЭ, частицы которого, концентрируясь на отдельных участках контактной поверхности, приводят к разрушению поверхности токопровода и его интенсивному абразивному изнашиванию. Картина изнашивания резко меняется при наличии токовой нагрузки – наблюдается резкое снижение количества абразива в контакте уже при значении тока  $I = 10$  А. Для контактной пары «металлокерамика – БрНХ» имеют место аспекты, присущие синергетическим яв-

лениям – наблюдается появление квазижидкого смазочного слоя. Возникновение указанного фактора обусловлено разрушением крупных фракций износа в результате повышения температуры поверхностных слоев контактирующих элементов при протекании нагрузочного тока. Это явление значительно уменьшает изнашивание металлокерамических контактных пар в режиме токовой нагрузки. Подобное явление приводит к снижению коэффициента трения на 28 – 30%, а износа в 1,5 – 2 раза. Результаты исследований металлокерамического контактного элемента приведены на рис. 3.

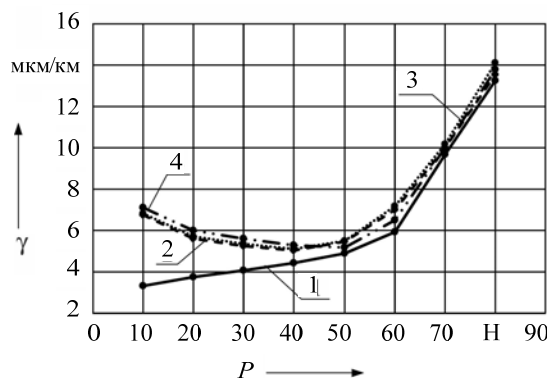


Рис. 3. Износ металлокерамического контактного элемента: 1 – без тока; 2 – переменный ток; постоянный ток: 3 – анодно-поляризованный и 4 – катодно-поляризованный КЭ

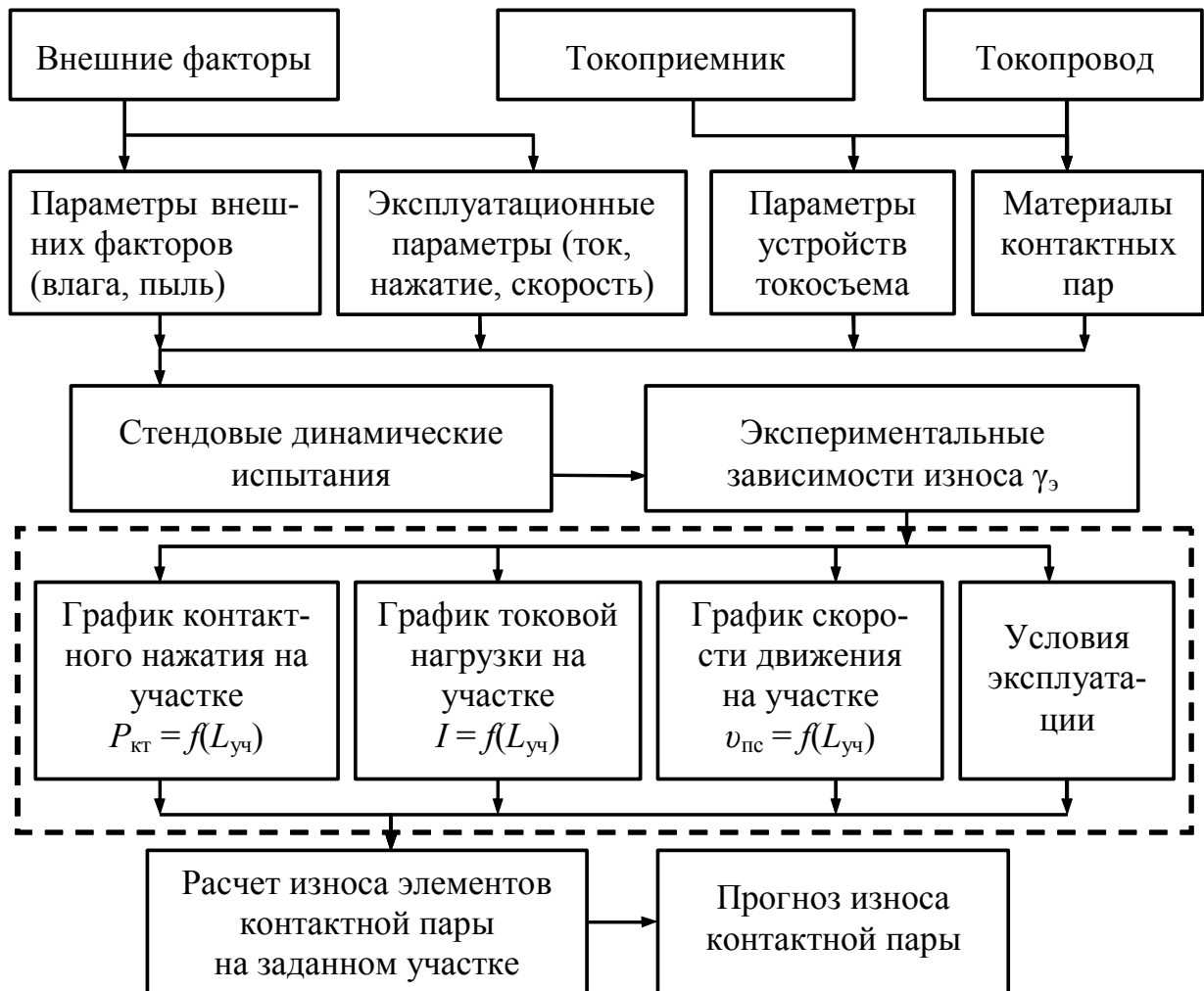


Рис. 4. Алгоритм прогнозирования износа контактных пар

Массив информации, полученной в результате экспериментальных исследований контактных пар, используется для прогнозирования износа контактных элементов. Алгоритм прогнозирования представлен на рис. 4.

Исходными данными для прогнозирования также являются: графики: контактного нажатия токоприемника; токовой нагрузки; скорости

движения подвижного состава на конкретном участке; параметры условий эксплуатации (рис. 4). Окончательный расчет износа контактных элементов и прогнозирование их ресурса осуществляется путем компьютерной обработки результатов анализа графика  $P_{кТ}$  и  $U$ -образной зависимости износа.

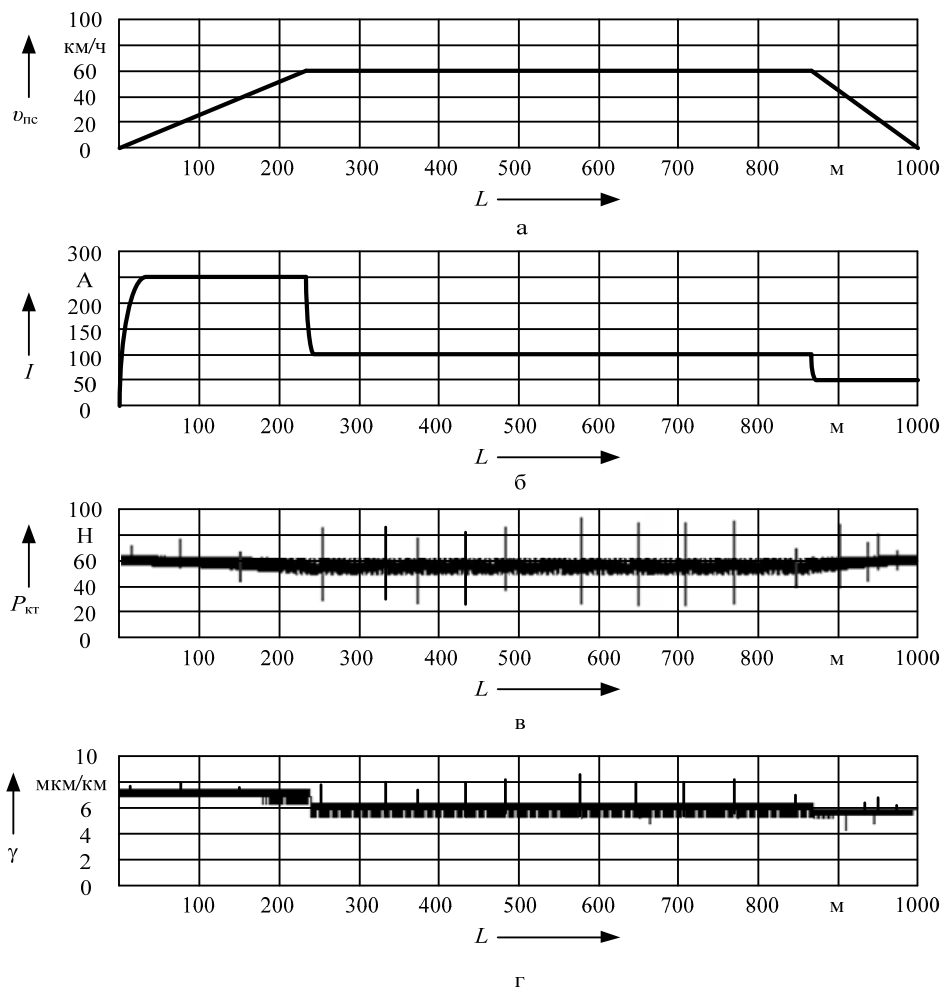


Рис. 7. Графики для прогнозирования износа КЭ:

а – скорости движения на участке; б – токовой нагрузки (на один токоприемник);

в – контактного нажатия на участке; г – удельный износ

Результаты исследований использованы для выбора материалов контактных пар устройств токосъема монорельсовой системы ОАО «Московские монорельсовые дороги».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоров О.А. Методы исследования износа контактных пар устройств токосъема монорельсового электрического транспорта / О.А.

Сидоров, С.А. Ступаков // Монография. ОмГУПС. Омск, 2009. 155 с.

2. Сидоров О.А. Патент на полезную модель №58463. МПК В60L 3/12. Устройство для исследования скользящего контакта между токоприемником и токопроводом / О.А. Сидоров, С.А. Ступаков, А.С. Голубков, А.Н. Кутькин, В.М. Филиппов. Заявл. 29.06.2006. Опубл. 27.11.06. Бюл. № 33. – 2006.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗОЛЯЦИИ, ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УСТРОЙСТВАХ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6-10 КВ СЕТЕВЫХ РАЙОНОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

### Введение

Сети напряжением 6-10 кВ подстанций сетевых районов имеют, как правило, смешанный характер и значительную разветвленность. Согласно [1] сети такого напряжения работают либо с изолированной нейтралью, либо с заземленной через настроенную индуктивность. Как показывают исследования проведенные в [2], наиболее распространенным видом повреждений таких сетей является однофазное замыкание на землю (ОЗЗ). Для борьбы с данным видом повреждений используется двухступенчатая система защиты с действием на сигнал. Первая ступень – токовая или направленная защита поврежденного присоединения, вторая ступень – защита установленная на подстанции и действующая сигнал.

### Анализ последних достижений и публикаций

Режим нейтрали зависит от значений емкостного тока всей гальванически связанной сети. В зависимости от режима нейтрали изменяются параметры сети, на которые настроены устройства защиты. Емкостные токи отходящих присоединений часто бывают ниже рабочих токов. В таком случае обеспечить селективность ступеней срабатывания особенно сложно. Преобладание однофазных замыканий на землю в рассматриваемых сетях над другими видами повреждений, неявновыраженный аварийный характер работы сети при таком повреждении, а также значительный диапазон изменения параметров нулевой последовательности, привели к разработке большого количества весьма разнообразных устройств защиты от ОЗЗ, которые можно классифицировать по принципу их действия на четыре основные группы [3]:

1) защитные устройства, реагирующие на параметры установившегося режима замыкания;

2) защитные устройства, реагирующие на параметры переходного процесса при замыканиях на землю;

3) защитные устройства, реагирующие на наложенные на сеть токи непромышленной частоты;

4) комбинированные устройства защиты.

Следует отметить, что ни одно из защитных устройств не может гарантировать благополучного исхода при прикосновении человека к токоведущим частям в сетях с любым режимом нейтрали при напряжении 6 кВ и выше. Поэтому основным назначением устройств защиты от замыканий на землю следует считать обеспечение электробезопасности при действии напряжения прикосновения, надежности электрообеспечения и недопущение дальнейшего развития аварий. Исходя из этого, основными требованиями, предъявляемыми к устройствам защиты распределительных сетей от несимметричных повреждений являются:

1) чувствительность к параметрам контролируемых величин; 2) селективность (избирательность) действий; 3) высокая функциональная и аппаратная надежность; 4) работоспособность в широком диапазоне изменения входных сигналов.

Научный и практический интерес представляют исследования работоспособности известных средств защиты при возможных видах режима работы нейтрали распределительных сетей.

К устройствам защиты, реагирующих на параметры установившегося режима однофазного замыкания на землю в распределительных сетях напряжением 6-10 кВ следует отнести:

– устройства, реагирующие на ток нулевой последовательности (максимальные токовые защиты нулевой последовательности);

– устройства, реагирующие на напряжение нулевой последовательности;

– устройства, реагирующие на ток и напряжение нулевой последовательности и угол между этими величинами (направленные устройства защиты).

Широкое применение токовых защит ограничивается относительно низкой чувствительностью, которая связана с необходимостью выбора тока срабатывания, исходя из условия от-

стройки от собственного емкостного тока защищаемого присоединения и, как правило, с учетом переходного процесса. В общем случае ток срабатывания простой токовой защиты определяется выражением:

$$I_{c3} = K_{\delta} I_{oc} \quad (1)$$

где  $K_{\delta}$  – коэффициент надежности, вводимый для отстройки от бросков собственного емкостного тока при переходном процессе, принимается  $K_{\delta} = 4 \div 5$ ;  $I_{oc}$  – собственный емкостной ток защищаемого присоединения.

Рекомендуемый коэффициент чувствительности простой токовой защиты должен быть:

$$K_{ч} = \frac{I_3}{I_{c3}} \geq 1.25 \dots 1.5$$

Выражение для коэффициента чувствительности можно записать в иной форме:

$$K_{ч} = \frac{I_3^{(1)}}{K_{\delta} I_{oc}} = \frac{3 U_{\phi} \omega C}{K_{\delta} 3 U_{\phi} \omega C_1} = \frac{C}{K_{\delta} C_1} \geq 1.25 \dots 1.5 \quad (2)$$

где  $I_3^{(1)} = 3 U_{\phi} \omega C$  и  $I_{oc} = 3 U_{\phi} \omega C_1$  – соответственно полный емкостной ток сети и собственный емкостной ток защищаемой линии при металлическом замыкании на землю, определяемый без учета активной составляющей проводимости изоляции сети.

Из выражения (2) с учетом  $K_{\delta}$  можно получить:

$$C \leq \frac{C}{(4 \dots 5)(1.25 \dots 1.5)} = \frac{C}{5 \dots 7.5} \quad (3)$$

Последнее выражение является условием применимости токовой защиты, то есть применение простой токовой защиты оправдано по условиям чувствительности при емкости защищаемой линии меньше в  $5 \div 7.5$  раз емкости всей электрически связанной сети. При несоблюдении указанного условия селективность работы нарушается. Необходимость выполнения условия (3) значительно ограничивает область применения токовых защит, тем более, если учитывать, что в процессе эксплуатации емкость всей сети, а также отдельных линий значительно меняется.

Достоинством простых токовых защит, реагирующих на ток нулевой последовательности, следует считать то, что такие защиты в отличие, от направленных устройств, реагируют на сравнительно более опасные двойные замыкания на землю.

Устройства направленной защиты от однофазных замыканий на землю, реагирующие на

параметры установившегося режима замыкания, работают на основе сравнения по фазе тока и напряжения нулевой последовательности. Указанные устройства рекомендованы только для сетей с полностью изолированной нейтралью.

Для реализации защиты направленного действия используется защита от ОЗЗ типа РДЗ-2М. Основными элементами первой степени этих защит являются реле направленного действия типа РЗД и трансформатор тока нулевой последовательности типа ТЗЛ или ТНП-1М. Реле РЗД реагирует на направление мощности нулевой последовательности и может быть использовано как при полностью изолированной нейтрали сети, так и при заземлении нейтрали через резистор. В последнем случае возникает дополнительная активная составляющая тока замыкания на землю, значение которой необходимо выбирать с учетом возможных фазовых искажений и обеспечения работоспособности направленной защиты.

Основными причинами неудовлетворительной работы направленных устройств защиты в сетях с изолированной нейтралью следует считать наличие переходных процессов, сопровождающих как возникновение замыкания фазы на землю, так и отключение поврежденного присоединения. К причинам, вызывающим ложную работу существующих устройств направленной защиты, следует отнести также несовершенство схемных решений. Из этой группы причин следует выделить следующие:

- недостаточную отстройку устройств по каналам тока и напряжения нулевой последовательности от высших гармонических составляющих, уровень которых может быть значительным, особенно при замыканиях через перемежающуюся дугу;

- широкая угловая зона срабатывания, которая составляет примерно  $180 \div 210^\circ$ , что приводит к совпадению во времени сравниваемых сигналов за счет их фазовых искажений, обусловленных угловыми погрешностями трансформаторов тока и напряжения, фазовыми сдвигами сигналов непосредственно в схеме устройства и т.п.

Дуговые замыкания на землю появляются вследствие нескольких импульсных перекрытий в течение периода и сопровождаются также переходными процессами с последующим установлением тока дугового замыкания промышленной частоты. Длительность горения электрической дуги и интервалы, через которые она повторяется, определяются быстродействи-

ем и режимом настройки дугогасящего реактора в компенсированных сетях, а также временными характеристиками.

### Формулирование целей и постановка задачи

Исходя из рассмотренных недостатков, существующих принципов построения защит от ОЗЗ, построение системы контроля параметров изоляции распределительной сети и разработка метода защиты от ОЗЗ является актуальной научной задачей.

### Изложение основного материала

В процессе эксплуатации систем электроснабжения по ряду причин и в первую очередь с целью прогнозирования уровня электробезопасности и надежности электрических сетей и установок необходимо знать состояние их изоляции. Надежность и безопасность работы систем электроснабжения во многом зависит от значений активного и реактивного сопротивлений изоляции электрической сети относительно земли. Для получения более достоверной информации о состоянии изоляции фаз сети относительно земли и косвенной оценки эксплуатационных характеристик систем электроснабжения необходимо производить желательный непрерывный мониторинг параметров изоляции и режима настройки дугогасящих реакторов под рабочим напряжением. Это позволит в упреждающем режиме отслеживать появление опасных состояний системы и, при имеющейся технической возможности, вводить опережающие управляющие команды, позволяющие минимизировать возможный ущерб.

Для целей автоматического и селективного контроля параметров изоляции (активного, реактивного и при необходимости полного сопротивлений относительно земли) в распределительных сетях предлагается использовать метод непрерывного измерения значений составляющих сопротивления изоляции сети относительно земли под рабочим напряжением, основанный на использовании наложенных на сеть оперативных токов промышленной частоты (рис.1). Суть предложенного метода непрерывного и оперативного контроля параметров изоляции относительно земли электрической сети и ее элементов состоит в том, что на электрическую сеть одновременно накладываются два оперативных синусоидальных сигнала (источники ИОС-1 и ИОС-2), частоты которых не равны между собой и отличается от промышленной.

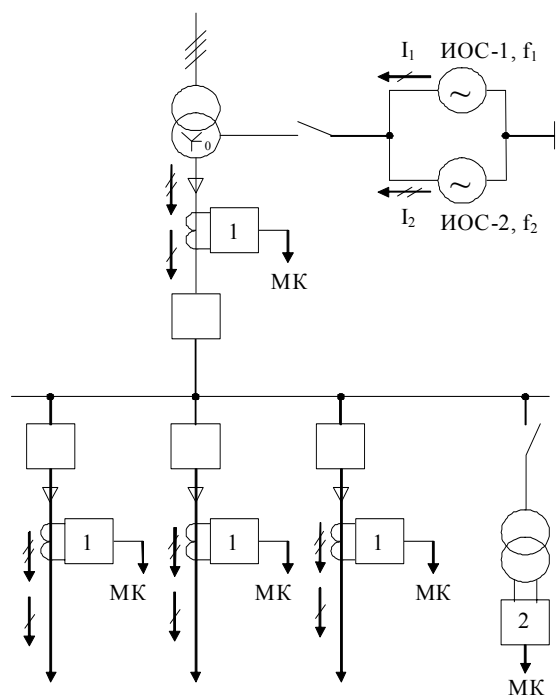


Рис. 1 - Схема, поясняющая метод непрерывного контроля параметров изоляции распределительной сети: 1 – устройство выделения и обработки оперативных токов; 2 – устройство выделения и обработки оперативных напряжений

На контролируемых участках (линии или присоединении), а также в месте подключения оперативного источника устанавливаются устройства, назначением которых является снятие параметров оперативных сигналов и их соответствующая обработка с целью определения в указанных точках значений оперативных токов и напряжений. Зафиксированные (с заданной скважностью сканирования) параметры оперативных сигналов в цифровом виде подаются на входы микроконтроллера МК, где используются для вычисления и передачи по заданному адресу непрерывно (регулярно) обновляемых значений параметров изоляции.

Для оперативных накладываемых на сеть сигналов рекомендуется использовать частоты 100 и 200 Гц. Этот выбор обусловлен практически полным отсутствием в системах электроснабжения четных гармоник, что резко снижает погрешность измерения от влияния помех, и относительно малым влиянием емкости присоединений и сети в целом на загрузку оперативного источника [3].

В общем случае значение накладываемого на распределительную сеть оперативного синусоидального тока определяется значениями напряжения оперативного источника  $U$  и проводимости относительно земли всей распре-

лительной сети (или, при необходимости, контролируемого участка):

$$\underline{I} = \underline{U} \underline{Y}, \quad (4)$$

где  $\underline{Y} = \frac{1}{R} + j\omega_{\text{оп}} C$ , или  $\underline{Y} = \frac{1 + j\omega_{\text{н}} CR}{R}$

комплексную проводимость изоляции сети или участка для оперативной частоты  $\omega_{\text{оп}}$ ;  $R$  и  $C$  – соответственно значения активного сопротивления и емкости относительно земли изоляции трех фаз контролируемого участка или сети, при этом

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}, \text{ и}$$

$$C = C_A + C_B + C_C.$$

Комплексное сопротивление оперативному току определится выражением:

$$\underline{z} = \frac{1}{\underline{Y}} = \frac{R}{1 + j\omega_{\text{оп}} CR} = \frac{R(1 - j\omega_{\text{оп}} CR)}{1 + \omega_{\text{оп}}^2 C^2 R^2}, \quad (5)$$

а ток через приведенное сопротивление будет равен

$$\underline{I} = \frac{U}{R}(1 + j\omega_{\text{оп}} CR), \quad (6)$$

или его действующие значения:

$$I = \frac{U}{R} \sqrt{1 + \omega_{\text{оп}}^2 C^2 R^2}. \quad (7)$$

Если на электрическую сеть накладываются одновременно два оперативных сигнала с разными частотами (рис 3), то тогда от каждого оперативного источника будем иметь токи:

$$I_1 = \frac{U_1 \sqrt{1 + \omega_1^2 C^2 R^2}}{R},$$

$$I_2 = \frac{U_2 \sqrt{1 + \omega_2^2 C^2 R^2}}{R}, \quad (8)$$

где  $I_1$ ,  $U_1$ ,  $\omega_1$  – ток, напряжение и частота первого оперативного источника;  $I_2$ ,  $U_2$ ,  $\omega_2$  – ток, напряжение и частота от второго оперативного источника.

Решив уравнения (8) относительно  $R$  получим:

$$R_1 = \sqrt{\frac{U_1^2}{I_1^2 - U_1^2 \omega_1^2 C^2}},$$

$$R_2 = \sqrt{\frac{U_2^2}{I_2^2 - U_2^2 \omega_2^2 C^2}}. \quad (9)$$

Предположим, что значение активного сопротивления изоляции контролируемого участ-

ка (сети) не изменяется за время измерения, т.е.  $R = const$ , приравняем и правые части выражений (6)

$$\frac{U_1^2}{I_1^2 - U_1^2 \omega_1^2 C^2} = \frac{U_2^2}{I_2^2 - U_2^2 \omega_2^2 C^2},$$

и решив новое уравнение относительно  $C$ , получим выражение для суммарной емкости трех фаз всей сети или соответствующего контролируемого участка (присоединения) относительно земли:

$$C = \frac{1}{U_1 U_2} \sqrt{\frac{U_2^2 I_1^2 - U_1^2 I_2^2}{(\omega_1^2 - \omega_2^2)}}. \quad (10)$$

Аналогичным образом, предположив, что значение емкости относительно земли контролируемого участка или сети не изменяется ( $C = const$ ), проведя необходимые преобразования, получим выражение для активного сопротивления изоляции относительно земли трех фаз всей сети или соответствующего контролируемого участка (присоединения):

$$R = U_1 U_2 \sqrt{\frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{U_2^2 I_1^2 \omega_2^2 - U_1^2 I_2^2 \omega_1^2}}. \quad (11)$$

## Выводы

Рассмотренный алгоритм работы метода контроля параметров изоляции относительно земли может быть использован при проектировании новых устройств избирательной сигнализации или защиты от замыканий на землю защиты в системах электроснабжения независимо от конфигурации и режима работы нейтрали сети.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила устройства электроустановок. [Текст] – X.: Издательство «ИНДУСТРИЯ», 2007. – 416 с.
2. Сирота, И.М. Режимы нейтрали электрических сетей. [Текст] И.М. Сирота, С.И. Кисленко, А.М. Михайлов – Киев. Наукова думка, 1985.
3. Пивняк Г.Г., Шкрабец Ф.П. Несимметричные повреждения в электрических сетях карьеров: Справочное пособие. [Текст] – М.: Недра, 1993. – 192 с.
4. Черников А.А. Компенсация емкостных токов в сетях с незаземленной нейтралью. [Текст] Черников А.А. – М.: Энергия, 1974. – 174 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ КОНТАКТНЫХ ПАР УСТРОЙСТВ ТОКОСЪЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

*Представил д.т.н., профессор Сидоров О.А.*

Одной из актуальных проблем при создании электрических транспортных систем является обеспечение надежной и экономичной передачи электроэнергии подвижному составу. Решение этой проблемы связано с разработкой новых или модернизацией существующих устройств токосъема. Передача электроэнергии электрическому подвижному составу осуществляется через скользящий контакт «контактный элемент – токопровод», вследствие чего элементы этой пары функционируют в условиях повышенного электромеханического износа. Повышение срока службы элементов контактной пары может быть обеспечено за счет выбора материалов, позволяющих обеспечить качественный токосъем, и оптимальных параметров эксплуатации. В 2001 г. в России введена в эксплуатацию трасса Московской монорельсовой транспортной системы (ММТС), основной проблемой которой является высокий износ контактных элементов (КЭ) токоприемников при передаче электрической энергии на борт электроподвижного состава (срок эксплуатации КЭ составляет не более 14 дней).

Для решения проблемы проведены экспериментальные исследования, направленные на выбор материалов контактных пар, наилучшим образом отвечающих требованиям качества токосъема и износостойкости. На основании результатов экспериментальных исследований созданы математические модели, позволяющие выполнять расчет износа контактных пар.

Реализация методики экспериментальных исследований изнашивания элементов контактных пар устройств токосъема требует наличия специализированных экспериментальных комплексов, а также значительных затрат времени и ресурсов. Для сокращения объема экспериментальных исследований может быть использован комбинированный способ – совокупность необходимого минимума экспериментальных исследований реальных объектов (или их аналогов) и методов расчета, основанных на математическом моделировании процессов, происходящих в контактных парах устройств токосъема. В соответствии с разработанной методикой необходимый объем экспериментальных исследований выполняется с помо-

щью специализированного комплекса, а полученные результаты служат входными данными для дальнейшего выполнения расчетов и прогнозирования ресурсов контактных пар.

Контактная пара устройства токосъема электрического транспорта представляет собой узел, который функционирует в условиях электромеханического изнашивания. В связи с этим сформированы математические модели, позволяющие моделировать изнашивание от нагрузки в контакте и от токовой нагрузки. Входными данными для моделирования являются сведения о физико-механических и химических свойствах материалов элементов контактных пар устройств токосъема, о геометрических размерах и форме элементов, а также об условиях эксплуатации устройств токосъема.

Для каждой контактной пары «контактный элемент (КЭ) – токопровод» выполняются экспериментальные исследования, при которых значения параметров эксплуатации (нажатие в контакте, скорость движения, токовая нагрузка и др.) ограничивают только граничными (минимальным и максимальным) значениями диапазона каждого параметра. Определение значений износа в остальных точках диапазона выполняется расчетным путем. После построения зависимостей изнашивания могут быть выполнены экспериментальные исследования для диапазона, характеризующегося минимальным износом. Это позволит уточнить значения, полученные расчетным путем, и при необходимости выполнить корректировку расчета.

Уравнение для решения задачи об оптимальных условиях механического изнашивания при поиске области оптимума приведено в работе [1] Э.Д. Брауна, Ю.А. Евдокимова, А.В. Чичинадзе. В этом уравнении в соответствии с положениями теории подобия в соответствующие критерии были объединены следующие факторы:

*первый критерий* – нагрузка в контакте, удельная теплоемкость, теплопроводность;

*второй критерий* – скорость скольжения, время испытания;

*третий критерий* – твердости элементов пары трения.

Еще один критерий, который входит в уравнение в виде самостоятельного фактора, показывает содержание в материале меди. В качестве параметра оптимизации принят износ массы  $I_M$ .

Однако анализ результатов экспериментальных исследований, выполненных при различных параметрах окружающей среды, подтвердил необходимость внесения в модель критериев, учитывающих состояние окружающей среды – влажность и запыленность. Поэтому в модель включены следующие факторы: нагрузка на образец  $P$ , Н; интегральный коэффициент поверхности  $r$ , м; скорость скольжения  $v$ , м/с; время испытания  $t$ , с; содержа-

$$I_M(P) = a_0 \left( \frac{Ptc_2}{r^2\lambda_1} \right)^{\alpha_m} \left( \frac{vt}{r} \right)^{\beta_m} (Cu)^{\gamma_m} \left( \frac{H_1(T_1)}{H_2(T_2)} \right)^{\varepsilon_m} \left( \frac{\phi_0}{\phi_1} \right)^{\lambda_m} \left( \frac{\chi_0}{\chi_1} \right)^{\omega_m}, \quad (1)$$

где  $a_0$  – постоянная, отражающая влияние на процесс неучтенных факторов;  $\alpha_m, \beta_m, \gamma_m, \varepsilon_m, \lambda_m, \omega_m$  – коэффициенты, определяемые экспериментально;  $Ptc_2/r^2\lambda_1$  – комплекс (мера отношения удельной мощности трения к способности КП накапливать, а КВ – передавать тепло);  $vt/r$  – отношение пути трения к коэффициенту поверхности КВ;  $H_1(T_1)/H_2(T_2)$  – отношение твердостей элементов контактной пары;  $T_i = dT_i/dz$  – градиент температуры элемента контактной пары по нормали  $z$  к его поверхности;  $\phi_1/\phi_2$  – отношение среднего значения относительной влажности окружающей среды за пять лет к значению относительной влажности на момент исследований;  $\chi_1/\chi_2$  – отношение среднего значения запыленности окружающей среды за пять лет к значению запыленности на момент исследований.

Изнашивание контактных пар устройств тока сьема от воздействия электрического тока можно представить с помощью функциональной зависимости между такими факторами как дугостойкость материала; количество электричества, прошедшее через дугу; контактное нажатие; длина пути трения; комплекс, учитывающий изменение шероховатости поверхностей; комплекс, учитывающий износ при токовой нагрузке без искрения; температура элементов контактной пары от токовой нагрузки.

Процессы, происходящие в электрическом скользющем контакте, описаны в работе [2] Р. Хольма; там же приведена формула для определения электрического износа элементов контактной пары:

$$I_E(P) = \left[ \xi(\gamma, Q, T) + \zeta \cdot X_1^{k_1} \left( W_1(P, k_1, k_2) j^{k_3} + g(P, X_3, X_4, T, k_4) \sqrt{\frac{Q}{s}} \right) \right] \cdot \vartheta(F_0, \phi, \chi),$$

ние меди в материале контактной вставки  $Cu$ , %; твердость материалов контактной вставки (КВ) и контактного провода (КП)  $H_1(T_1)$  и  $H_2(T_2)$  от температуры; теплопроводность материала КВ  $\lambda_1$ , Вт/(м·К); удельная теплоемкость КП  $c_2$ , Дж/(кг·К); относительная влажность окружающей среды  $\phi$ , %; количество абразива (запыленность)  $\chi$ , %.

Воспользуемся уравнением для вычисления износа, приведенным в работе [1], дополнив его факторами, учитывающими состояние внешней среды:

$$W = \gamma Q + sP \left( W_0 + W_1 \sqrt{\frac{I}{10}} + g \sqrt{\frac{Q}{s}} \right), \quad (2)$$

где  $\gamma$  – коэффициент, характеризующий дугостойкость материала;  $Q$  – количество электричества, прошедшее через дугу;  $W_0$  – коэффициент износа от механической нагрузки (без тока);  $P$  – контактное нажатие;  $s$  – длина пути трения;  $g$  – коэффициент, характеризующий изнашивание материала вследствие повышения шероховатости поверхностей;  $W_1$  – коэффициент износа при токовой нагрузке без искрения.

Кратковременные потери контакта при токовом сопровождении возникают вследствие искрения (дугообразования), которое увеличивает значения износа: возникает испарение материала с поверхностей контакта, повышается их шероховатость и температура. Процесс изнашивания контактных пар при протекании через контакт тока заключается во фриттинге пленок поверхностей и электролизе, а также зависит от температурного гра-

диента  $\left( \frac{\partial T^*}{\partial z} \right)$  по нормали к поверхности трения,

где  $T^*$  – средняя температура номинальной поверхности трения,  $z$  – координата по нормали к поверхности трения.

На основании анализа результатов экспериментальных исследований электромеханического износа материалов контактной пары выполнено преобразование уравнения (2) к форме, приведенной в работе [3]. Дополним его составляющей, которая позволит учесть температурный градиент поверхностей, и запишем:

где  $\xi(\gamma, Q, T)$  – коэффициент, зависящий от дугостойкости материала и характеризующий электроэрозионный износ с учетом температурного градиента;

$\gamma = \gamma(k_3, t)$  – коэффициент дугостойкости, который зависит от материала, рода тока и полярности элемента контактной пары;

$Q = Q(j, A_r, t)$  – количество электричества, которое определяется плотностью тока, площадью контакта и временем горения дуги;

$\zeta$  – масштабный коэффициент;

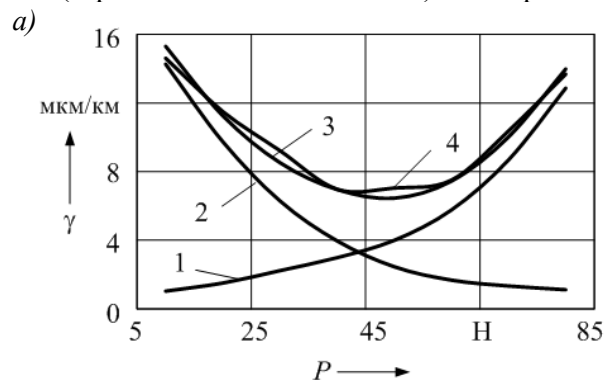
$$X_1 = \left( \frac{Ptc_2}{r^2 \lambda_1} \right)^{\alpha_m}, \quad X_3 = (Cu)^{\gamma_m},$$

$$X_4 = \left( \frac{H_1(T_1)}{H_2(T_2)} \right)^{\varepsilon_m} \text{ – комплексы уравнения (1);}$$

$$k_1 = k_1(-P^\alpha), \text{ где } \alpha = 1,4 \cdot 10^{-3} k_3;$$

$$k_2 = k_2(P^{-\beta}), \text{ где } \beta = 3,3 \cdot 10^{-2} k_3;$$

$k_3 \in [1; 2]$  – коэффициент, учитывающий род тока (переменный или постоянный) и полярность



контактного элемента (анодно- или катодно-поляризованный);

$k_4$  – коэффициент, учитывающий содержание графита в материале, %;

$\vartheta(F_0, \phi, \chi)$  – коэффициент, характеризующий состояние окружающей среды (температуру, влажность, запыленность);

$$F_0 = \frac{at}{l^2} \text{ – критерий Фурье (} a \text{ – коэффициент}$$

температуропроводности,  $t$  – время изменения внешних условий,  $l$  – характерный линейный размер), устанавливающий соответствие между темпом изменения условий в окружающей среде и темпом перестройки температурного поля внутри элемента контактной пары).

На рис. 1, а показаны графики (расчет и эксперимент) электромеханического изнашивания КЭ, на рис. 1, б – то же для токопровода; приняты следующие обозначения: 1 – расчет механического износа; 2 – расчет электрического износа; 3 – суммарная расчетная зависимость электромеханического износа; 4 – электромеханический износ (экспериментальные данные).

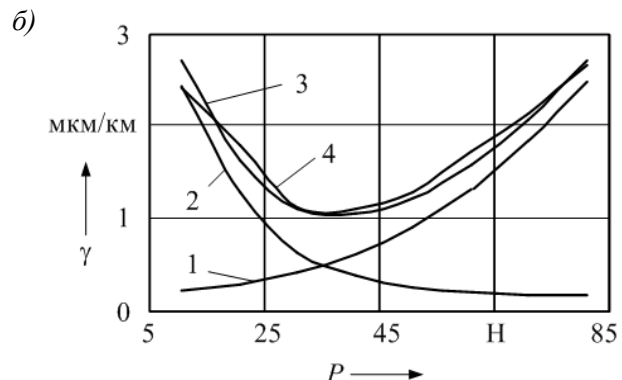


Рис. 1. Расчетные и экспериментальные графики изнашивания:  
а – меднографитового КЭ; б – токопровода

Сравнение  $U$ -образных расчетных и экспериментальных кривых изнашивания (рис. 1), показывает, что отклонение данных составляет не более 6%. В связи с этим достаточно выполнить эксперимент только для граничных значений диапазона контактного нажатия, а полученные данные использовать в качестве входных значений для расчетов зависимостей изнашивания на математической модели. В случае необходимости уточнения границ диапазона, характеризующегося минимальными значениями износа элементов контактной пары, может быть выполнен дополнительный эксперимент.

**Вывод:** методика и результаты исследований использованы при выборе материалов контактных

элементов токоприемников монорельсовой системы ОАО «Московские монорельсовые дороги».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Браун Э.Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах / Э.Д. Браун, Ю.А. Евдокимов, А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 191 с.

2. Хольм Р. Электрические контакты / Р. Хольм. – М.: Иностранная литература, 1961. – 480 с.

3. Ступаков С.А. Математическое моделирование износа контактных пар устройств токосъема монорельсового электрического транспорта / С.А. Ступаков, В. М. Филиппов, Т.В.Охрименко // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. №1. 2011. С. 240 – 243.

## МОДЕЛЮВАННЯ НЕСИМЕТРИЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ КОМПЕНСАТОРІВ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ У СЕРЕДОВИЩІ SIMULINK ПАКЕТУ MATLAB

*Представив д.т.н., професор Гетьман Г.К.*

До складу тягових підстанцій змінного та постійного струму звичайно входять регульовані компенсатори реактивної потужності (КРП).

Особливою рисою традиційних систем компенсації реактивної потужності є те, що величина реактивної потужності визначається по струму і напрузі тільки однієї фази. Такий підхід є прийнятним для електричних систем з симетричними навантаженням та мережею. Разом з тим звичайно системи фазових напруг, навантажень, ємності компенсуючих конденсаторів не є симетричними.

Метою даного дослідження було з'ясування поведінки регульованого компенсатора реактивної потужності у разі виникнення несиметричних режимів. Модель компенсатора реактивної потужності було створено у середовищі Simulink пакету Matlab.

Під час моделювання компенсатора реактивної потужності розглядалися електричні кола з компенсуючими ємностями та без них.

На першому етапі було розроблено модель трифазної системи, що складалась з джерела трифазної напруги та симетричного RL-навантаження (рис.1). Використовувалися наступні параметри електричного кола:  $U_{л} = 300 \text{ В}$ ,  $f = 50 \text{ Гц}$ ,  $R = 1 \text{ Ом}$ ,  $L = 1 \text{ мГн}$ ,  $R_{\text{внут.джер.}} = 0,31 \text{ Ом}$ .

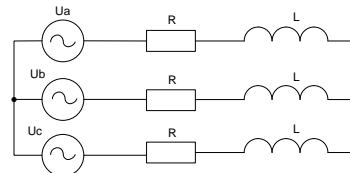


Рис.1. Трифазний ланцюг із симетричним RL-навантаженням

Модель цієї схеми представлена на рис.2,

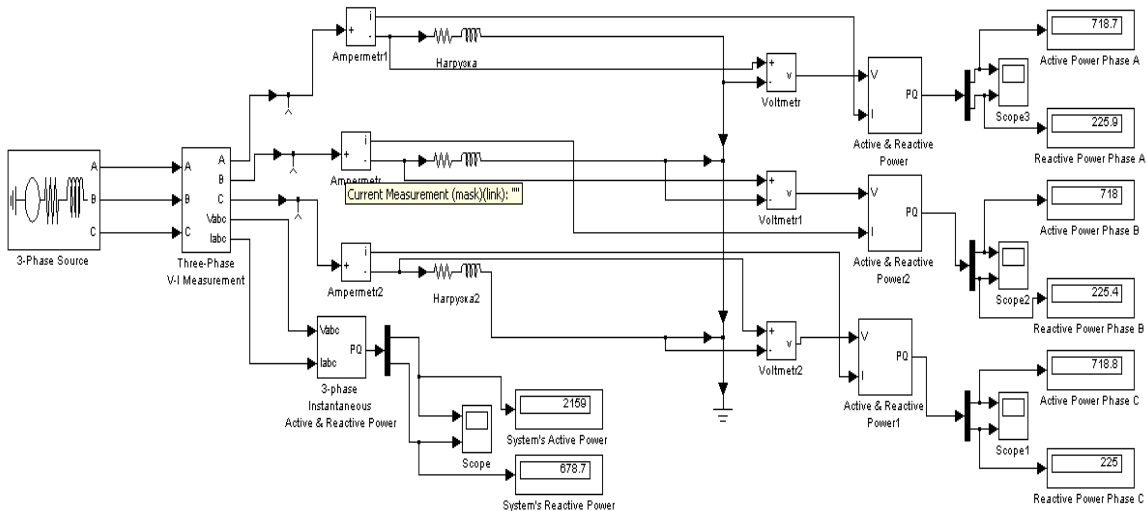


Рис. 2. Модель трифазного ланцюга із симетричним RL-навантаженням

де:

- 3-Phase Source - джерело 3 фазної напруги;
- 3-Phase VI Measurement - 3 фазний вимірювач струму та напруги;
- 3-Phase Active & Reactive Power - 3 фазний вимірювач активної та реактивної потужності.

До блоку вимірювання підключені датчики струмів і напруг усіх фаз, а з виходу блоку знімалися значення активної та реактивної потужності. Чисельні значення потужностей відображалися на блоках Display, а часові характеристики активної і реактивної потужностей відображалися блоком

Score. В цій моделі передбачена можливість контролю за споживаною активною та реактивною енергією по кожній фазі. Така система контролю була створена з метою ручної перевірки працеспроможності моделі.

Після симуляції були отримані наступні результати - споживана реактивна потужність складала 0.678 кВАр, а активна потужність 2.159 кВт. Ручна перевірка підтвердила правильність симуляції.

На другому етапі створювалась модель регульованого компенсатора реактивної потужності. Була забезпечена можливість комутації ємностей. Регулювання полягало в тому, що компенсуючі ємності підключалися чи відключалися вручну до системи в залежності від розбалансу потужності. На рис.3 зображена модель блоку, який забезпечував регулювання споживаної реактивної потужності за рахунок комутації ємностей.

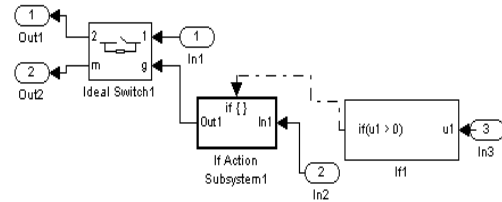


Рис.3. Внутрішня схема блоку комутації ємностей

У даній підсистемі, блок *If Action Subsystem*, використовується як драйвер, який отримує сигнал із зовнішнього керуючого блоку. Блок *If*, виконує функцію пристрою, що задає умову, у разі виконання якого, блок *If Action Subsystem* відкриває ключ *Ideal Switch*. На рис. 4, зображена модель системи, в якій включення і виключення компенсуючих ємностей, здійснюється за логікою, що описана вище. Компенсуючі ємності входять до складу блоку КРМ.

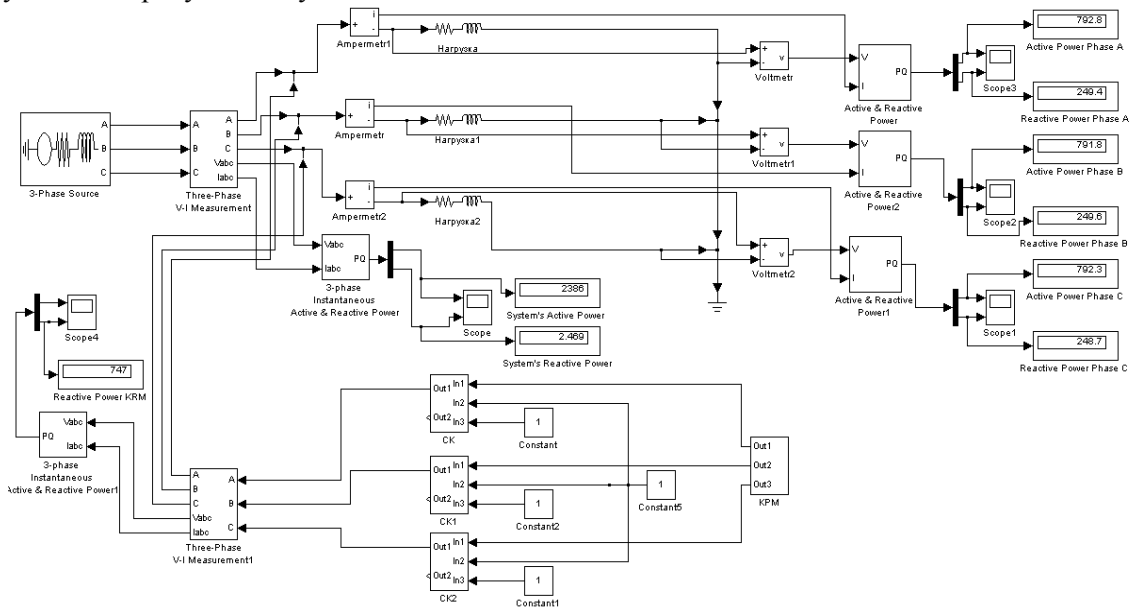


Рис. 4. Модель системи з регульованими компенсуючими ємностями

По завершенню другого етапу моделювання було отримано модель базової схеми з регульованим компенсатором реактивної потужності. Створена модель далі використовувалась для дослідження асиметричних режимів роботи.

На третьому етапі, було розглянуто три варіанти несиметричних режимів роботи системи. Проводилась незалежна симуляція системи:

- з розбалансом фазових напруг;
- режим роботи системи зі зміною величини та характеру навантаження;
- обрив однієї з фаз живлення;

- розбаланс величин компенсуючих ємностей.

Модель що створена на попередньому етапі була модифікована з урахуванням розбалансу фазових напруг. Так, фазова напруга  $U_A=270$  В,  $U_B=300$  В,  $U_C=300$  В. В результаті симуляції були отримані наступні результати: реактивна потужність почала генеруватися в мережу. Результати симуляції показали, що використання інформації про струм та напругу лише по одній фазі не є ефективним.

Наступним етапом була розробка моделі для дослідження впливу зміни величини навантаження та характеру навантаження,

зокрема заміна активно-індуктивного навантаження однієї з фаз, чисто активним.

Моделювалися наступні ситуації:

- по одній з фаз замінено активно-індуктивне навантаження чисто активним;
- по одній з фаз збільшено індуктивність в два рази;
- перша і друга ситуація одночасно.

В результаті симуляції отримано наступні дані - в першому варіанті реактивна енергія почала генеруватися в мережу, оскільки покази блоку *Display* рівні -289.9 VAR.

В другому випадку, збільшивши індуктивність у навантаженні вдвічі, споживана реактивна потужність стала рівною 266 VAR. Отже збільшення номіналу котушки, призвело до того, що компенсатор не виконує свою функцію в повному обсязі.

У третьому випадку, реактивна потужність рівна -104 VAR, що також свідчить, що КРП не є ефективним в даному випадку, оскільки реактивна потужність генерується в мережу.

Моделювався аварійний режим в електромережі – обрив фази.

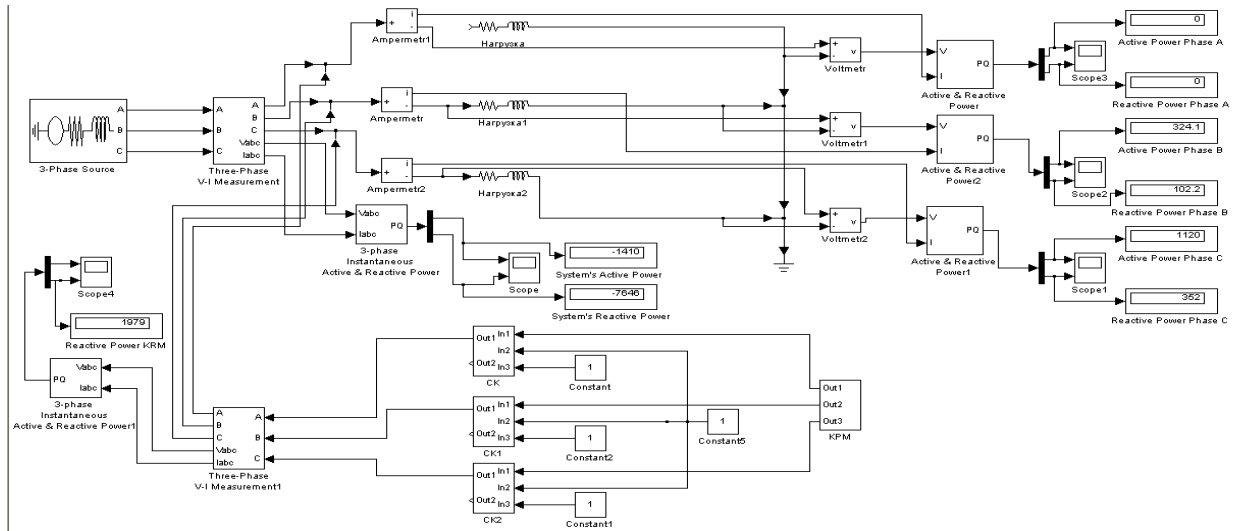


Рис. 5. Модель системи з обривом фази А

Як видно з рис. 5, реактивна потужність системи генерується в мережу. Дана модель яскраво ілюструє, що доволі широко поширена неполадка в електромережі, сприяє генерації реактивної енергії в мережу в доволі великому обсязі.

В результаті моделювання різних конфігурацій розробленої на початку моделі системи, були отримані наступні результати:

- по-перше, була створена модель системи з симетричним *RL*-навантаженням, та під'єднаним до цієї системи КРП.
- по-друге, була створена модель пристрою регулювання включенням та виключенням КРП до електричного кола.

• по-третє, був досліджений вплив дестабілізуючих факторів на роботу компенсаційної системи. В результаті, були визначені режими роботи компенсатора у випадках зміни величини напруги в мережі, зміни величини та характеру навантаження.

Проведений аналіз несиметричних режимів роботи компенсатора реактивної потужності показав можливість виникнення суттєвих похибок. Ця особливість потребує розробки системи керування компенсатором в якій би враховувалися значення напруг та струмів по кожній з фаз та реальний стан компенсуючих ємностей.

## АНОТАЦІЇ

### УДК 621.313.222:62-83

Андрієнко П.Д. Дослідження реостатно-рекуперативного гальмування у системі імпульсного регулювання серієсного електродвигуна [Текст] / П.Д. Андрієнко, С.І.Шило, О.О.Каплієнко, Н.М.Шевченко // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 6-9.

Досліджено засобами імітаційного моделювання режим рекуперативного гальмування у модернізованій системі імпульсного регулювання серієсного електродвигуна. Отримано і проаналізовано електромеханічні процеси в даному режимі. Побудовано сімейство кривих співвідношень струмів для деяких гальмівних моментів.

Лл. – 3, список літ. – 6 назв.

### УДК 621.821

Баб'як М.О. Дослідження зносу накладок струмоприймачів електрорухомого складу постійного струму [Текст] / М.О.Баб'як, Л.О.Недужа, В.Я.Котик // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 10-12.

Подано деякі дані експлуатаційних випробувань накладок струмоприймачів електровозів постійного струму.

Лл. – 2, табл. – 2, список літ. – 2 назв.

### УДК 621.331

Бадер М.П. Електромагнітні процеси в багатопровідних лініях тягового електропостачання [Текст] / М.П. Бадер // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 13-19.

В даній статті виконано дослідження і приведений аналіз, які показують можливість моделювання розподілу електромагнітних коливань вздовж багатопровідних ліній тягового електропостачання, які дають можливість визначити струми та напруги в будь-якій точці багатопровідної лінії, одночасно визначити напруги у суміжних лініях.

Лл. – 2, список літ. – 1 назв.

### УДК 656.259.1

Бялонь А. Методологія та проблеми проведення випробувань електромагнітної сумісності рухомого складу [Текст] / А. Бялонь, А. Длужневський, Л. Джон // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 20-25.

Описано методологію та розкрито проблеми вимірювань електромагнітної сумісності електрорухомого складу.

Лл. – 6, список літ. – 7 назв.

### УДК 621.331

Бондар І.Л. Ефективність компенсації реактивної потужності на ділянці електричної тяги змінного струму [Текст] / І.Л.Бондар, Г.В. Кагльак, Ю.С. Крушельницька// Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 26-28.

Приведені дослідження компенсації реактивної потужності: матричний метод аналізу електричних кіл з врахуванням трансформації, розміщення пристроїв компенсації.

Лл. – 3, список літ. – 5 назв.

### УДК 629.423.1.087:621.314.572

Власьєвський С.В. Зниження вільних коливань напруги в контактній мережі при роботі електровоза змінного струму в режимі рекуперативного гальмування [Текст] /

С.В.Власьєвський, В.Г.Скорик, Е.В.Буняєва // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 29-30

Проведено математичне моделювання процесів роботи інвертора, для підвищення якості електроенергії у тяговій мережі при роботі електровоза у рекуперативному гальмуванні.

Іл. – 2.

#### **УДК 004.89**

Войтиков Д.В. До питання про інтеграцію технологій експертної системи завдання поточного контролю стану схеми секціонування контактної мережі в АРМе дільничного енергодиспетчера [Текст] / Д.В.Войтиков, В.В.Іванов// Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 31-34.

Розглядається вирішення практичної проблеми інтеграції експертної системи з експлуатованим програмним забезпеченням і БД, на прикладі конкретного АРМа залізничного енергодиспетчера. Розглядаються варіанти інтеграції. Наводяться результати тестування тимчасових характеристик роботи прототипу інтегрованої системи на реальному об'єкті впровадження.

Табл. – 2, список літ. – 2 назв.

#### **УДК 621.331**

Босий Д.О. Визначення траєкторії розташування контактного проводу для фізичної моделі взаємодії контактної підвіски зі струмоприймачем електрорухомого складу [Текст]/Д.О.Босий, В.Г.Мандич // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 35-40.

В статті приведено методологію визначення траєкторії контактного проводу для фізичної моделі для різних типів контактних підвісок. На підставі аналітичних виразів в загальному вигляді визначено необхідні довжини контактного проводу для монтажу на кільцевому стенді.

Іл. – 6, табл. – 1, список літ. – 6 назв.

#### **УДК 621.331**

Данилов О.А. Реалізація двозонного захисту фідерів тягових підстанцій постійного струму 3,3 кВ на мікропроцесорному комплекті [Текст] / О.А. Данилов, Б.А. Рябокін // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 41-43.

В статті розглянуто можливість застосування мікропроцесорного захисту в якості двозонного захисту фідерів тягових підстанцій постійного струму при використанні нових швидкодіючих вимикачів.

Іл. – 5, список літ. – 3 назв.

#### **УДК 629.423.1**

Костін М.О. Вплив рекуперації та вибігу електрорухомого складу на його енергетичні показники [Текст] / М.О.Костін, О.І.Саблін, А.В.Нікітенко // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 44-46.

В роботі виконано оцінку впливу рекуперативного гальмування і вибігів електрорухомого складу на якість рекуперованої електроенергії, а також на енергетичні показники електрорухомого складу. Числові розрахунки виконано для трамваїв ТЗД, а також для електровозів ВЛ8, що експлуатуються на ряді ділянок Придніпровської залізниці.

Іл. – 2, табл. – 3, список літ. – 2 назв.

### **УДК 621.313.333**

Костін М.О. Енергетичні характеристики і показники електротягових мереж системи постійного струму [Текст] / М.О.Костін, А.В. Петров // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 47-50.

Представлено методики визначення та результати розрахунків деяких енергетичних характеристик і показників в мережах системи електричної тяги постійного струму. Проаналізовано характер та причини їх поведінки.

Лл. – 6, список літ. – 3 назв.

### **УДК 621.331**

Кузнецов В.Г. Дослідження залежності втрат потужності в тяговій мережі від показників нерівномірності потоку потягів [Текст] / В.Г.Кузнецов, К.А.Калашников // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 51-53.

Досліджено залежності втрат потужності в контактній мережі від показників нерівномірності потоку поїздів на міжпідстанційній зоні.

Лл. – 1, табл. – 1, список літ. – 1 назв.

### **УДК 621.331**

Максимець С.М. Діяльність залізниць як учасників оптового ринку електроенергії України [Текст] / С.М.Максимець, А.Л.Лагута // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 54-58.

Внаслідок збільшення обсягів споживання електричної енергії залізничним транспортом та стабільного зростання цін на енергоносії, Укрзалізницею постійно здійснюються заходи з оптимізації витрат залізниць на закупівлю електроенергії. Підсумки проведених досліджень показали, що для залізниць є економічно доцільним закуповувати електроенергію на Оптовому ринку електроенергії.

Лл. – 2.

### **УДК 621.313.333**

Петров А.В. Обґрунтування і методика визначення форми та параметрів струму компенсуючого пристрою тягових мереж [Текст] / А.В.Петров, Костін М.О. // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 59-61.

Приведена методика визначення форми та параметрів струму компенсуючого пристрою для зниження непродуктивних втрат електроенергії в тяговій мережі постійного струму. Наведені часові залежності такого струму для реально діючої ділянки Придніпровської залізниці.

Лл. – 2, список літ. – 3 назв.

### **УДК 621.332.2:621.315.66**

Полях О.М. Визначення низькоомних опор контактної мережі, об'єднаних груповим заземленням [Текст] / О.М.Полях // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 62-67.

Виконані розрахунки і аналіз знаходження низькоомної опори контактної мережі, яка приєднана до групового заземлення без її від'єднання.

Лл. – 2, табл. – 4, список літ. – 5 назв.

### **УДК 629.423.1**

Саблін О.І. Рациональне регулювання встановленої потужності тягового засобу в процесі руху [Текст] / О.І.Саблін, О.І.Бондар // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 68-71.

Для зниження надлишкової потужності електротранспорту з дискретним регулюванням потужності розглянута можливість оперативного відключення груп тягових двигунів в режимі тяги. Виконані розрахунки показують, що зниження надлишкової потужності тягового засобу дозволяє зменшити витрати електроенергії на тягу за рахунок зниження витрат електроенергії від нерівномірного електроспоживання в системі тяги та силовому колі тягового засобу.

Лл. – 5, табл. – 1, список літ. – 6 назв.

#### **УДК 621.336.2**

Сидоров О.О. Прогнозування ресурсу контактних пар пристроїв струмознімання монорейкового транспорту [Текст] / О.О. Сидоров, С.А.Ступаков, В.М. Філіпов // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 72-75.

Запропоновано методику прогнозування зносу контактних пар пристроїв струмознімання монорейкового транспорту.

Лл. – 4, список літ. – 2 назв.

#### **УДК 621.316.9**

Шкрабець Ф. П. Розробка методу контролю параметрів ізоляції, для використання в пристроях захисту від замикань на землю в мережах 6 – 10 КВ мережеских районів електропостачання [Текст] / Ф.П. Шкрабець, О.В.Остапчук // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 76- 79.

Розглянутий алгоритм роботи методу контролю параметрів ізоляції відносно землі незалежно від конфігурації і режиму роботи нейтралі мережі.

Лл. – 1, список літ. – 4 назв.

#### **УДК 621.336.2**

Ступаков С.А. Моделювання зносу контактних пар пристроїв струмознімання електричного транспорту [Текст] / С.А. Ступаков, В.М. Філіпов, Т.В. Охріменко // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 80-82.

Приведено методологію моделювання зносу контактних пар пристроїв струмознімання електричного транспорту.

Лл. – 1, список літ. – 3 назв.

#### **УДК 621.331**

Катков О.С. Моделювання несиметричних режимів роботи компенсаторів реактивної потужності у середовищі Simulink пакету Matlab [Текст] / О.С. Катков, В.А. Тодоренко, О.І. Тюрютіков // Електрифікація транспорту – 2011. – №2 – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 83-85.

Приведено методологію моделювання несиметричних режимів роботи компенсаторів реактивної потужності у середовищі Simulink пакету Matlab.

Лл. – 5.

### **АННОТАЦИИ**

#### **УДК 621.313.222:62-83**

Андриенко П.Д. Исследование реостатно-рекуперативного торможения в системе импульсного регулирования серийного электродвигателя [Текст] / П.Д. Андриенко, С.І.Шило, О.О.Каплиенко, Н.М.Шевченко // Электрифікація транспорта – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 6-9.

Исследован средствами имитационного моделирования режим рекуперативного торможения в усовершенствованной схеме импульсного регулирования серийного электродвигателя. Получены и проанализированы электромеханические процессы в

данном режиме. Построено семейство кривых соотношений токов для некоторых тормозных моментов.

Ил. – 3, список лит. – 6 наим.

#### **УДК 621.821**

Бабяк М.О. Исследование износа накладок токоприемников электродвижущего состава постоянного тока [Текст] / М.О.Бабяк, Л.А.Недужа, В.Я.Котик // Электрификация транспорта – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 10-12.

Поданы некоторые данные эксплуатационных испытаний накладок токоприемников электровозов постоянного тока.

Ил. – 2, табл. – 2, список лит. – 2 наим.

#### **УДК 621.331**

Бадер М.П. Электромагнитные процессы в многопроводных линиях тягового электроснабжения [Текст] / М.П. Бадер // Электрификация транспорта – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 13-19.

В данной статье выполнено исследование и приведен анализ, которые показывают возможность моделирования распределения электромагнитных колебаний вдоль многопроводных линий тягового электроснабжения, которые дают возможность определить токи и напряжения в любой точке многопроводной линии, одновременно определить напряжения в смежных линиях.

Ил. – 2, список лит. – 1 наим.

#### **УДК 656.259.1**

Бялонь А. Методология и проблемы проведения испытаний электромагнитной совместимости подвижного состава [Текст] / М.П. Бадер // Электрификация транспорта – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 20-25.

Описана методология и раскрыты проблемы измерения электромагнитной совместимости электроподвижного состава.

Ил. – 6, список лит. – 7 наим.

#### **УДК 621.331**

Бондарь И.Л. Эффективность компенсации реактивной мощности на участке электрической тяги переменного тока [Текст] / И.Л. Бондарь, А.В. Кагляк, Ю.С. Крушельницкая // Электрификация транспорта – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 26-28.

Приведены исследования для компенсации реактивной мощности: матричный метод анализа электрических кругов с учетом трансформации, размещения устройств компенсации.

Ил. – 3, список лит. – 5 наим.

#### **УДК 629.423.1.087:621.314.572**

Власьевский С.В. Снижение свободных колебаний напряжений в контактной сети при работе электровоза переменного тока в режиме рекуперативного торможения [Текст] / С.В. Власьевский, В.Г. Скорик, Е.В. Буняева // Электрификация транспорта – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 29-30.

Проведено математическое моделирование процессов работы инвертора, для повышения качества электроэнергии в тяговой сети при работе электровоза в рекуперативном торможении.

Ил. – 2.

#### **УДК 004.89**

Войтиков Д.В. К вопросу об интеграции технологий экспертной системы задачи текущего контроля состояния схемы секционирования контактной сети в АРМе участкового энергодиспетчера [Текст] / Д.В.Войтиков, В.В.Иванов // Электрификация транспорта – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 31-34.

Рассматривается решение практической проблемы интеграции экспертной системы с эксплуатируемым программным обеспечением и БД, на примере конкретного АРМа железнодорожного энергодиспетчера. Рассматриваются варианты интеграции. Приводятся результаты тестирования временных характеристик работы прототипа интегрированной системы на реальном объекте внедрения.

Табл. – 2, список лит. – 2 наим.

#### **УДК 621.331**

Босый Д.А. Определение траектории расположения контактного провода для физической модели взаимодействия контактной подвески с токоприемником электроподвижного состава [Текст] / Д.А. Босый, В.Г. Мандыч // Электрификация транспорта – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 35-40.

В статье приведена методология определения траектории контактного провода для физической модели для различных типов контактных подвесок. На основании аналитических выражений в общем виде определены необходимые длины контактного провода для монтажа на колбцевом стенде.

Ил. – 6, табл. – 1, список лит. – 6 наим.

#### **УДК 621.331**

Данилов А.А., Рябоконт Б.А. Реализация двузонной защиты фидеров тяговых подстанций постоянного тока 3,3 кВ на микропроцессорном комплекте [Текст] / А.А. Данилов, Б.А. Рябоконт // Электрификация транспорта. – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 41-43.

В статье рассмотрена возможность применения микропроцессорной защиты в качестве двузонной защиты фидеров тяговых подстанций постоянного тока при использовании новых быстродействующих выключателей.

Ил. – 5, список лит. – 3 наим.

#### **УДК 629.423.1**

Костин Н.А. Влияние рекуперации и выбега электродвижущего состава на его энергетические показатели [Текст] / Н.А. Костин, О.И. Саблин, А.В. Никитенко // Электрификация транспорта. – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 44-46.

В работе выполнена оценка влияния рекуперативного торможения и выбегов электродвижущего состава на качество рекуперированной электроэнергии, а также на энергетические показатели электродвижущего состава. Числовые расчеты выполнены для трамваев ТЗД, а также для электровозов ВЛ8, которые эксплуатируются на ряде участков Приднепровской железной дороги.

Ил. – 2, табл. – 3, список лит. – 2 наим.

#### **УДК 621.313.333**

Костин Н.А. Энергетические характеристики и показатели электротяговых сетей системы постоянного тока [Текст] / Н.А.Костин, А.В. Петров // Электрификация транспорта – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 47-50.

Представлены методики определения и результаты расчетов некоторых энергетических характеристик и показателей в сетях системы электрической тяги постоянного тока. Проанализированы характер и причины их поведения.

Ил. – 6, список лит. – 3 найм.

#### **УДК 621.331**

Кузнецов В.Г. Исследование зависимости потерь мощности в тяговой сети от показателей неравномерности потока поездов [Текст] / В.Г. Кузнецов, К.А. Калашников // Электрификация транспорта. – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 51-53.

Исследованы зависимости потерь мощности в контактной сети от показателей неравномерности потока поездов на межподстанционной зоне.

Ил. – 1, табл. – 1, список лит. – 1 найм.

#### **УДК 621.331**

Максимец С.М. Деятельность железных дорог как участников оптового рынка электроэнергии Украины [Текст] / С.М. Максимец, А.Л. Лагута // Электрификация транспорта. – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 54-58.

В результате увеличения объемов потребления электрической энергии железнодорожным транспортом и стабильного роста цен на энергоносители, Укрзалізницю постоянно осуществляются мероприятия по оптимизации расходов железных дорог на закупку электроэнергии. Итоги проведенных исследований показали, что для железных дорог является экономически целесообразным закупать электроэнергию на Оптовом рынке электроэнергии.

Ил. – 2.

#### **УДК 621.313.333**

Петров А.В. Обоснование и методика определения формы и параметров тока компенсирующего устройства тяговых сетей [Текст] / А.В. Петров, Костин Н.А. // Электрификация транспорта. – 2011. – №2. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 59-61.

Приведена методика определения формы и параметров тока компенсирующего устройства для снижения непродуктивных потерь электроэнергии в тяговой сети постоянного тока. Приведены часовые зависимости такого тока для реально действующего участка Приднепровской железной дороги.

Ил. – 2, список лит. – 3 найм.

#### **УДК 621.332.2:621.315.66**

Полях А.Н. Определение низкоомных опор контактной сети, объединенных групповым заземлением [Текст] / А.Н. Полях // Электрификация транспорта. – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 62-67.

Выполнены расчеты и анализ нахождения низкоомной опоры контактной сети, которая присоединена к групповому заземлению без ее отсоединения.

Ил. – 2, табл. – 4, список лит. – 5 найм.

#### **УДК 629.423.1**

Саблин О.И. Рациональное регулирование установленной мощности тягового средства в процессе движения [Текст] / О.И. Саблин, О.И. Бондарь // Электрификация транспорта. – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 68-71.

Для снижения избыточной мощности электротранспорта с дискретным регулированием мощности рассмотрена возможность оперативного отключения групп тяговых двигателей в режиме тяги. Выполненные расчеты показывают, что снижение избыточной мощности тягового средства позволяет уменьшить расходы электроэнергии на тягу за счет снижения расходов электроэнергии от неравномерного электропотребления в системе тяги и силовом кругу тягового средства.

Ил. – 5, табл. – 1, список лит. – 6 найм.

### **УДК 621.336.2**

Сидоров О.А. Прогнозирование ресурса контактных пар устройств токосъема монорельсового транспорта [Текст] / О.А. Сидоров, С.А. Ступаков, В.М. Филиппов // Электрификация транспорта. – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 72-75.

Предложена методика прогнозирования износа контактных пар устройств токосъема монорельсового транспорта.

Ил. – 4, список лит. – 2 наим.

### **УДК 621.316.9**

Шкрабец Ф.П. Разработка метода контроля изоляции для использования в устройствах защиты от замыканий на землю в сетях 6-10 кВ сетевых районов электроснабжения [Текст] / Ф.П. Шкрабец, О.В. Остапчук // Электрифікація транспорту. – 2011. – № 2. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 76-79.

Рассмотрен алгоритм работы метода контроля параметров изоляции относительно земли независимо от конфигурации режима работы нейтрали сети.

Ил. – 1, список лит. – 4 наим.

### **УДК 621.336.2**

Ступаков С.А. Моделирование износа контактных пар устройств токосъема электрического транспорта [Текст] / С.А. Ступаков, В.М. Филиппов, Т.В. Охрименко // Электрификация транспорта. – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 80-82.

Приведена методология моделирования износа контактных пар устройств токосъема электрического транспорта.

Ил. – 1, список лит. – 3 наим.

### **УДК 621.331**

Катков О.С. Моделирование несимметричных режимов работы компенсаторов реактивной мощности в среде Simulink пакета Matlab [Текст] / О.С. Катков, В.А. Тодоренко, А.И. Тюрютиков // Электрификация транспорта. – 2011. – №2 – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 83-85.

Приведена методология моделирования несимметричных режимов работы компенсаторов реактивной мощности в среде Simulink пакета Matlab.

Ил. – 5.

## **ANNOTATION**

### **UDC 621.313.222:62-83**

Andriyenko, P.D. The investigation of recuperative braking mode in the system of the series-wound electric motor impulsive [Text] / P. D. Andriyenko, S.I. Shylo, O.O. Kapliyenko, N.M. Shevchenko // Electrification of transport. – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 6-9.

The authors investigate the regenerative braking mode in the improved scheme of pulse series motors control. Investigations provide with simulation. Authors have received and analyzed the electromechanical processes in this mode. The authors constructed a family of curves for some of the current ratio of braking points.

Illustrations – 3, the list of literature – 6 titles.

### **UDC 621.821**

Babyak, M.O. The investigation of protective strap's wear of pantographs electric rolling stock of direct current [Text]/ M.O. Babyak, L.A. Neduzha, V.J. Kotyk // Electrification of transport. – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 10-12.

The authors present some information of operational tests of onlay on the electromotive current collectors of DC.

Illustrations – 2, table – 2, the list of literature – 2 titles.

#### **UDC 621.331**

Bader, M.P. The electromagnetic processes in a multi-wire lines of the traction power supply [Text] / M.P. Bader // Electrification of transport. – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 13-19.

The authors perform a study and result analysis. They show the possibility of modeling the distribution of electromagnetic waves along the multiwire lines of traction current. All this makes it possible to determine the currents and voltages at any point in a multi-line, at the same time to determine the stresses in the adjacent lines.

Illustrations – 2, the list of literature – 1 title.

#### **UDC 656.259.1**

Białoń A., Dłużniewski A., John Ł. Methodology and problems during testing electromagnetic compatibility of rolling stock [Text] / A. Białoń, A. Dłużniewski, Ł. John // Electrification of transport. – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 20-25.

Methodology described and disclosed the problem of measurement of electromagnetic compatibility of electric rolling stock.

Illustrations – 6, the list of literature – 7 titles.

#### **UDC 621.331**

Bondar I.L The effectiveness of compensation reactive power in the area of the electric traction of alternating current [Text] / I.L. Bondar, G.V. Kaglyak, Y.S. Krushelnytska // Electrification of transport. – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 26-28.

The authors present the study to compensate for reactive power. They use a matrix method of analysis of electrical circles taking into account of transformation, placing compensation devices.

Illustrations – 3, the list of literature – 5 titles.

#### **UDC 629.423.1.087:621.314.572**

Vlasyevskiy, S.V. The reduction of free oscillations of the voltage in the contact network when electric locomotive of alternating current is working in mode of regenerative braking [Text] / S.V. Vlasyevskiy, V.G. Skoryk, E.V. Bunyaeva // Electrification of transport. – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 29-30.

The authors performed a mathematical simulation of the inverter to improve the quality of electricity in traction network when operating in an electric AC mode rekuperative braking.

Illustrations – 2.

#### **UDC 004.89**

Voytikov, D.V. To the question about integration of technologies' consulting system task of current control of the modes' chart of sectioning contact network in APM of district's power dispatcher [Text] / D.V. Voytikov, V.V. Ivanov // Electrification of transport – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 31-34.

The authors consider the solution of practical problems of integration of expert system with software operated by the example of a specific workstation Railway dispatcher. The authors consider the options for integration. The results of testing the temporal characteristics of the prototype of an integrated system for the real object implementation.

Tables – 2, the list of literature – 2 titles.

### **UDC 621.331**

Bosiy, D.A. The definition of trajectory of disposition of the contact wire for physical models of reciprocity contact catenary with current collector of the rolling stock [Текст] / D.A. Bosiy, V.G. Mandych // Electrification of transport – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 35-40.

The authors consider the method of determining the trajectory of the contact wire to a physical model for the different types of contact hanger. Based on analytical expressions are defined in general terms the required length of the contact wire for mounting on a stand kolbtsevom.

Illustrations – 6, table – 1, the list of literature – 6 titles.

### **UDC 621.331**

Danilov A.A. The implementation of two-band feeder protection DC traction substations 3.3 kV on microprocessor kit [Text] / A.A. Danilov, B.A. Riabokon // Electrification of transport – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 41-43.

The article discusses the possibility of microprocessor protection as two-band feeder protection DC traction substations using new high-speed switches.

Illustrations – 5, the list of literature – 3 titles.

### **UDC 629.423.1**

Kostin N.A. The influence of recuperation and inertia running of the rolling stock on its power rates [Text] / N.A. Kostin, O.I. Sablin, A.V. Nikitenko // Electrification of transport – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 44-46.

In the estimate the influence of regenerative braking and coasting on the quality of the electromotive recovered energy, as well as on the energy performance of the electromotive. Numerical calculations were performed for the TZDs trams, as well as for electric VL8 that operated in several areas of the Dnieper railway.

Illustrations – 2, table – 3, the list of literature – 2 titles.

### **UDC 621.313.333**

Kostin M.O. The energy's characteristics and performances in the direct current electric traction system [Text] / Kostin M.O., Petrov A.V. // Electrification of transport – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 47-50.

Presents methods for determining and results of calculations and some of the energy characteristics and performance in networks of electric traction system of direct current. We analyze the character and causes of their behavior. Illustrations – 6, the list of literature. – 3 title.

### **UDC 621.331**

Kuznetsov V. G. The investigation of the dependence of power losses in contact lines on irregularity of trains flow [Text] / Kuznetsov V. G., Kalashnikov K.A. // Electrification of transport – 2011. – No 2. – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 51-53.

The dependence of power losses in the contact network on the performance of the uneven flow of trains between two neighboring traction substations.

Illustrations – 1, table – 1, the list of literature – 1 title.

### **UDC 621.331**

Maksymets S.M. The activities of railways as members of the wholesale electric power market in Ukraine [Text] / Maksymets S.M., Lahuta A.L. // Electrification of transport – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 54-58.

With the increase in consumption of electricity by rail and steady growth in energy prices, Ukrainian railway constantly taking steps to optimize the cost of railways in the purchase of

electricity. Results of studies have shown that for the railways is economically feasible to purchase electricity on the wholesale market of electricity.

Illustrations – 2.

### **UDC 621.313.333**

Petrov A.V. The basic and method of determining the form and parameters of current of the compensating equipment of traction networks [Text] / Petrov A.V., Kostin M.O. // Electrification of transport. – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 59-61.

A method for determining the shape and parameters of current compensating device to reduce unproductive energy losses in traction network of constant current. Shows the dependence of the current hour for really active part of the Dnieper railway.

Illustrations – 2, the list of literature – 3 titles.

### **UDC 621.332.2:621.315.66**

Polyah, O.M. Finding the defective support of contact network combined by group ground connection [Text] / Polyah O.M. // Electrification of transport – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 62-67.

The calculations and analysis for finding low-resistance contact support network that is connected to the group grounding without its disconnection.

Illustrations – 2, table – 4, the list of literature – 5 titles.

### **UDC 629.423.1**

Sablin O.I. The rational regulation of mounted capacity of traction means in the process of moving [Text] / Sablin O.I., Bondar O.I. // Electrification of transport – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 68-71.

To reduce the excess capacity of electric power control with discrete considered the possibility of operational teams off the traction motors in traction mode. The calculations show that the reduction of excess capacity traction means to reduce the cost of electricity for traction by reducing the cost of electricity from non-uniform energy consumption in the thrust and pulling force range of funds.

Illustration – 5, table – 1, the list of literature – 6 titles.

### **UDC 621.336.2**

Sidorov O.A. Predicting resource contact pairs current collection devices monorail transport [Текст] / O.A. Sidorov, S.A. Stupakov, V.M. Filippov // Electrification of transport – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 72-75.

The technique of predicting wear contact pairs current collection devices monorail transport.

Illustration – 4, the list of literature – 2 titles.

### **UDC 621.316.9**

Shkrabec F. P. The development of method control isolation's parameters for the use in the devices of protecting from earth-faults in networks 6-10 kV of network districts of power supply [Text] / Shkrabec F. P., Ostapchuk A. V. // Electrification of transport. – 2011. – No 2. – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 76-79.

Reviewed by the algorithm of the method of monitoring the insulation to ground regardless of the configuration mode of the neutral network.

Illustration – 1, the list of literature – 4 title.

**UDC 621.336.2**

Stupakov S.A. Simulation of wear of contact pairs of devices current collection of electric transport [Текст] / S.A. Stupakov, V.M. Filippov, T.V. Ohrimenko // Electrification of transport – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 80-82.

Shows the modeling methodology wear contact pairs current collection devices, electric vehicles.

Illustration – 1, the list of literature – 3 titles.

**UDC 621.331**

Katkov O.S. Modeling asymmetric modes of reactive power compensators in the environment Simulink Matlab package [Текст] / O.S. Katkov, V.A. Todorenko, O.I. Turutikov // Electrification of transport – 2011. – No 2 – D.: Publishing by DNURT, 2011. – P. 83-85.

Shows the methodology of modeling asymmetric modes of reactive power compensators in the environment of Matlab Simulink package.

Illustrations – 5.

---

**ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ  
ТРАНСПОРТУ**

*науковий журнал*

**ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ  
ТРАНСПОРТА**

*научный журнал*

**ELECTRIFICATION  
OF TRANSPORT**

*scientific journal*

---

*Свідоцтво про державну реєстрацію № 17327 – 6097Р від 14.10.2010 р.*

*Передрук матеріалів здійснюється тільки з дозволу редакції  
Члени редакційної колегії здійснюють рецензування статей  
Статті друкуються мовою оригіналу в авторській редакції  
Редакція не обов'язково поділяє думку автора і не відповідає  
за фактичні помилки, яких він припустився*

*Редактор: Сиченко В. Г.*

*Комп'ютерна верстка: Босий Д. О.*

Поштова адреса:

49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2  
ДНУЗТ, кафедра «Електропостачання залізниць»,  
тел.: (056) 373-19-11, факс.: (0562) 47-16-74

E-mail: [elsnz@mail.ru](mailto:elsnz@mail.ru)

Ум. др. арк. 11,0. Зам. №

Наклад 100 прим.

Видавництво Маковецький Юрій Вадимович

Свідоцтво ДК №2665 від 25.10.2006 р.

49000, Україна, м. Дніпропетровськ, вул. Плеханова, 16, к.14

Тел. (056)798-33-64, факс (0562)36-79-93

e-mail: [europress@gala.net](mailto:europress@gala.net)

# З ДНЕМ ЕНЕРГЕТИКА

ШАНОВНІ КОЛЕГИ!

Вітаємо з професійним святом!  
Бажаємо міцного здоров'я, наснаги,  
тепла та світла в кожному домі.

Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна у 2012 р. проводяться наступні тематичні науково-практичні конференції:

► **5-а Міжнародна науково-практична конференція «Електромагнітна сумісність і безпека на залізничному транспорті EMC&S-R»**, яка відбудеться в туристичному комплексі «Водограй», смт. Чинадієво, Закарпатської обл., 14 – 17 лютого 2012 р.

Програма конференції передбачає роботу по таких напрямках:

1. Електромагнітна сумісність технічних засобів;
2. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті;
3. Безпека технічних засобів залізничного транспорту;
4. Доведення безпеки і випробування на електромагнітну сумісність;
5. Сертифікація технічних засобів на EMC.

► **3-а Міжнародна науково-практична конференція «Енергозбереження на залізничному транспорті»**, яка відбудеться в смт. Воловець, Закарпатської обл., 30 травня – 02 червня 2012 р.

Програма конференції передбачає роботу по таких напрямках:

1. Нормування споживання енергетичних ресурсів.
2. Енерго- і ресурсозбереження.
3. Енергоаудит.
4. Енергоменеджмент.
5. Застосування енергозберігаючих технологій і устаткування.
6. Проблеми обліку і контролю енергетичних ресурсів.
7. Ефективне використання традиційних і поновлюваних джерел енергії на залізничному транспорті.

► **6-а Міжнародна науково-практична конференція «Електрифікація транспорту»** ТРАНСЕЛЕКТРО-2012, яка відбудеться в м. Місхор, АР Крим, 25 – 28 вересня 2012 р.

Програма конференції передбачає роботу по таких напрямках:

1. Перспективи розвитку електричного транспорту.
2. Якість електричної енергії, методи і засоби її забезпечення.
3. Способи, методи і пристрої діагностування в системах електричного транспорту.
3. Експлуатація господарства електротяги.
4. Застосування нових технологій і устаткування.
5. Проблеми швидкісного руху, струмознімання, електромагнітна сумісність.
6. Проблеми електровозобудування.
7. Електромеханічні системи і електропостачання електричного транспорту.
8. Проблеми надійності, діагностики і безпеки електричного транспорту.

На конференціях заслуховуватимуться і будуть обговорені нові результати теоретичних і експериментальних досліджень, а також розглянуті проблемні питання розвитку науки і техніки по вказаних напрямках. За необхідною інформацією звертатись до редколегії.

## ИЗОПЛАСТ



ЛК-10



НСК-27



ФСК-27



ШП-10



ШП-20

Предприятие ООО «Изопласт», г. Славянск, благодаря сочетанию высокого качества продукции и гибкой маркетинговой политике, на протяжении 15 лет является лидером по производству и продажам на рынке Украины полимерных высоковольтных изоляторов для контактных сетей электрифицированных железных дорог постоянного тока и переменного напряжения, ВЛ 10 - 330 кВ, междуфазовых изолирующих распорок с регулируемой длиной. В 2012 году впервые поступят в эксплуатацию штыревые полимерные изоляторы типа ШП для ВЛ 10 и 20 кВ отечественного производства, а также опорные полимерные изоляторы на напряжение 6 - 110 кВ.

Опыт эксплуатации полимерных изоляторов в Украине составляет более 30 лет, и сегодня нет необходимости доказывать их технические и экономические преимущества, они используются во всем мире.

Предприятие располагает технологическими возможностями для полного замкнутого цикла производства полимерных изоляторов, начиная от изготовления силиконовой, кремнийорганической, негорючей резиновой смеси и комплектующих (оконцевателей и присоединительных элементов) и заканчивая самими полимерными изоляторами с цельнолитой защитной оболочкой толщиной не менее 4 мм.

На предприятии имеется конструкторский отдел, позволяющий разрабатывать и внедрять в производство новые образцы продукции.

Качество изоляторов более 10 лет подтверждено сертификатом ISO 9001, сертификатами соответствия УкрСЕПРО, сертификатами Днепропетровского органа сертификации железнодорожного транспорта, протоколами испытаний в независимом государственном испытательном центре ГП «НИИВН» (Минтопэнерго Украины), отзывами потребителей.

Более подробно с нашей номенклатурой, чертежами изделий и их техническими характеристиками Вы можете ознакомиться на сайте [www.izoplast.biz](http://www.izoplast.biz) или по тел. (06262) 2-53-33, (0626) 66-41-25.