



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

ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТА  
ELECTRIFICATION OF TRANSPORT

# ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТРАНСПОРТУ

№ 1 / 2011

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

1 / 2011

ДНІПРОПЕТРОВСЬК



**№ 1, 2011**

Видання Дніпропетровського національного університету  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Затверджений до друку Вченою радою університету  
протокол № 13 від 29.06.2011 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>Максимчук В.Ф., Лагута І.І., Сиченко В.Г.</b> Електрифікація, як все починалось ..... 5	5
<b>Афанасов А.М.</b> Определение расхода электроэнергии на проведение приемо-сдаточных испытаний тяговых электрических машин .... 10	10
<b>Бялонь А.</b> Проблеми електромагнітної сумісності пристроїв залізничної автоматики та рухомого складу..... 15	15
<b>Бондар І.Л., Перетяцько Т. С.</b> Фізичне моделювання електричних, теплових і механічних процесів у малогабаритному струмообмежувальному реакторі..... 22	22
<b>Бондар О.І.</b> Розвиток методики визначення електричних показників покриттів в ресурсозберігаючих установках імпульсного електролітичного відновлення деталей електрорухомого складу залізниць..... 26	26
<b>Власьевский С.В., Скорик В.Г., Буняева Е.В, Фокин Д.С.</b> Повышение эффективности работы электровоза переменного тока с плавным регулированием напряжения в режимах тяги и рекуперативного торможения..... 30	30
<b>Воронов М. М., Ляшук В. М.</b> Дослідження можливості використання технічних заходів, що підвищують надійність тягових агрегатів..... 35	35
<b>Куделька О.В., Ляшук В. М.</b> Модернізація фідерної автоматики на тяговій підстанції постійного струму ..... 39	39
<b>Кузнецов В. Г., Кирилюк Т. І., Сергатий Ю.М.</b> Динаміка зміни «умовних витрат» електричної енергії в тяговій мережі..... 42	42
<b>Лагута І.І, Лагута А.Л.</b> Впровадження інформаційних технологій у господарствах електропостачання залізниць України..... 46	46

## CONTENT

<b>Maksymchuk V.F., Lahuta I.I., Sychenko V.G.</b> The electrification, as it was beginning.....5	5
<b>Afanasov A. M.</b> The determination of the energy expended on implementation of receiving tests of hauling electric machines .....10	10
<b>Bialoń A.</b> Problems of electromagnetic compatibility control command devices and rolling stock.....15	15
<b>Bondar I.L., Peretyatko T. S.</b> The physical modeling of electrical, thermal and mechanical processes in compact current-limiting reactor .....22	22
<b>Bondar O.I.</b> The development of methodology for determining the electrical performances of coverings in resource recovery plants of pulsed electrolytic reactivation details of the rolling stock railways .....26	26
<b>Vlasyevskiy S.V., Skoryk V.G., Bunyaeva E.V., Fokyn D.S.</b> The increasing of efficiency of an electric alternating current locomotive with smooth voltage regulation in the modes of traction and regenerative braking .....30	30
<b>Voronov M.M., Lyashuk V.M.</b> The investigation of the possibility of using technical hardwares, step-up reliability of hauling arms .....35	35
<b>Kudelka O.V., Lyashuk V.M.</b> The modernization of the feeder automation on traction substation of direct current.....39	39
<b>Kuznetsov V.G., Kirilyuk T.I., Sergatyi U.M.</b> The dynamics of change «conditional losses» of electricity in the traction network.....42	42
<b>Lahuta I.I., Lahuta A.L.</b> The installation of information technology in railway's power supply system of Ukraine .....46	46

**Матусевич О. О.**

Методологічні концепції удосконалення системи керування тягового електропостачання залізниць..... 50

**Міщенко Т.М.**

Перехідні процеси в електротяговій мережі змінного струму при вмиканні силового трансформатора електровоза ДС3 у режимі холостого ходу .....53

**Михаліченко П. С., Костін М. О.**

Релейний мікропроцесорний захист системи тягового електропостачання, оснований на новій ознаці. 2. Схемне рішення .....57

**Шевельов Д. А., Дьяков В. О.**

Дослідження протикорозійного захисту підземних металевих споруд на електролітичній моделі .....64

**Балійчук О. Ю.**

Моделювання роботи статичного перетворювача тягової передачі електровозу.....69

**Бондаренко Ю. С.**

Можливість реалізації активної фільтрації перешкод тягового струму у колах СЦБ та зв'язку електрифікованих залізниць .....77

**Краснов Р. В., Шаповалов А. В.**

Дослідження впливу пуску та роботи електродвигуна (ДК-409) компресора (ЭК-7Б) при номінальних параметрах нагрівання ізоляції якоря .....82

Анотації .....85

**Matusevich O.O.**

The methodological concepts of improving the management of power supply of electrified railway.....50

**Mishchenko T.M.**

The transient processes in the electrical traction of alternating current when power transformer of electric locomotive DS3 is including in the mode of idling .....53

**Myhalichenko P.E., Kostin M.O.**

The microprocessor relay protection of the system traction power supply, based on a new sign of determination. 2. Circuit decision.....57

**Shevelev D.A., Dyakov V.O.**

The investigation of anticorrosive protection of underground metallic structures on the electrolytic model.....64

**Baliychuk O.U.**

The modeling of the work of the static converter traction of traction transmission of electric locomotive.....69

**Bondarenko U.S.**

The possibility of realization active filtration of interference of traction current in circles SCB and radio communications of the electrified railways.....77

**Krasnov R.V., Shapovalov A.V.**

The influence of study start-up and work at nominal parameters of the compressor (EK-7B) motor (DK-409) for heating insulation anchor it .....82

Annotations .....85

МАКСИМЧУК В.Ф., ЛАГУТА І.І. (УКРЗАЛІЗНИЦЯ),  
СИЧЕНКО В.Г. (ДНУЗТ)

## ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ, ЯК ВСЕ ПОЧИНАЛОСЬ...

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

Поштовхом до початку практичного використання електричної енергії в якості джерела тяги на залізничному транспорті послужила промислова виставка в Берліні (1879 р.), на якій був продемонстрований макет електрифікованої залізниці з підведенням електричної енергії до локомотива по рейках.

Ще до цього російський інженер Ф.А. Піроцький у 1876 році здійснив у передмісті Петербурга під Сестрорецьком передачу електричної енергії по залізничним рейкам на відстань у 3,5 версти.

Перша лінія електричного трамваю в Російській імперії побудована у Києві (1892 р.).

Першою на території Радянського Союзу була введена в експлуатацію електрифікована дільниця Баку – Сабунчі – Сурахани довжиною 20,5 км. На даній дільниці була прийнята система постійного струму напругою 1200 В. В якості перетворювальних агрегатів на тягових підстанціях використовувалися мотор-генератори і одноякірні перетворювачі, виготовлені заводом «Динамо» для електричної залізниці Петербург – Оринієнбаум – Красна Горка, будівництво якої було зупинено у 1914 році через початок світової війни. Моторвагонні (13 шт.) і причіпні (13 шт.) вагони були виготовлені на Митищенському та Брянському заводах.

Вперше у Російській Федерації було електрифіковано магістральну дільницю з приміським рухом Москва – Митищі, бувшої Північної залізниці, довжиною 17,8 км. Переведення на електротягу даної дільниці послужило початком технічної реконструкції російських залізниць.

На території України історія електрифікації розпочалася із дільниці Запоріжжя – Кривий Ріг (Долгинцеве), будівництво пристроїв електропостачання на якій почалося у першому кварталі 1932 року. Дільниця була введена у експлуатацію у листопаді 1935 року.

### Придніпровська залізниця

До 1958 року на Придніпровській залізниці працювала всього одна електрифікована дільниця на постійному струмі Долгинцеве – Запоріжжя довжиною 203,6 км, яку обслуговували

7 тягових підстанцій і електровозне депо на ст. Нікополь. Електровозами перевозилося 8,8 % вантажів залізниці.

У 1958 році було переведено на електричну тягу дільницю Нижньодніпровськ-Вузол – Чапліне по проекту Дніпродіпротрансу (автор А.О. Кільман). До кінця 1959 року було переведено на електричну тягу ще 120 км на напрямку Чапліне – П'ятихатки.

У 1961 році було електрифіковано дільницю Мудрьона – Саксагань – П'ятихатки з відгалуженням на Рядову – Грековату довжиною 97,6 км, у 1962 році – П'ятихатки – 67 км із будівництвом по ст. П'ятихатки-Стикова парку стикування постійного і змінного струму.

У 1964-1965 роках була завершена робота по електрифікації дільниці Лозова – Синельникове – Запоріжжя довжиною 202 км.

У 1968 році була електрифікована дільниця Красноармійськ – Павлоград – Новомосковськ-Нижньодніпровськ – Дніпродзержинськ, довжиною 253 км з одночасною електрифікацією двох паралельних ходів Новомосковськ – Нижньодніпровськ-Вузол.

В 1970 році введена електротяга на дільниці Мелітополь – Сімферополь (244,3 км), який був заключним ланцюгом електрифікованої на постійному струмі напругою 3,3 кВ магістралі Москва-Сімферополь. У 1972 році дана електрифікована магістраль подовжилася на 80,8 км до Севастополя.

В 1973 році здійснена та введена в експлуатацію дільниця Острякове – Євпаторія (60,4 км). У 1981 році введено електротягу на дільниці Кривий Ріг – Долинська (Тимково) довжиною 53,4 км.

Роботи активно продовжувалися до 1973 року і на сьогодні на залізниці електрифіковано 1881,3 км або 59 % експлуатаційної довжини залізниці, при цьому питома вага електротяги в загальному вантажообігу залізниці складає близько 92 %. На залізниці працює 83 тягових підстанцій, 46 районів контактної мережі, 25 районів електропостачання, 21 монтерський пункт, один електромонтажний поїзд, дорожні

електромеханічні майстерні, дорожня електротехнічна лабораторія.

Великий вклад у розвиток господарства у відповідні періоди здійснили Зезюлінський В.Ф., Бондарев М.М., Кільман А.О., Івченко І.Я., Бабенко І.Д., Таслицький Я.Н., Самарець Л.І., Колихаєв І.І., Худокормов В.В., Кучма К.Г. та багато інших.

### **Південно-Західна залізниця**

В липні 1953 року на залізниці створена служба електрифікації і енергетичного господарства (начальник Браєрський І.І.).

Першу електрифіковану дільницю Київ – Боярка (22 км) було введено в експлуатацію на постійному струмі 800 В з наступним переведенням на 1650 В. До 1960 року продовжувалася електрифікація Київського вузла на постійному струмі. На 1 січня 1961 року було електрифіковано 141 км (Київ – Фастів, Київ – Бровари, Київ-Волинський – Клавдієво).

В 1963 році було виконано роботи з переведення пристроїв електротяги з напруги 1950 В на 3300 В.

В 1963 році на Південно-Західну залізницю прийшов змінний струм напругою 27,5 кВ (Миронівка – Фастів).

У 1967 році введено в експлуатацію електрифікований напрямок Хутір-Михайлівський – Бровари з переведенням дільниць Київського вузла з постійного струму напругою 3,3 кВ на однофазний змінний напругою 25 кВ. Потрібно відмітити, що вперше в світовій практиці дане переведення було здійснене без перерви в русі поїздів.

Станом на 01.01.2008 року на залізниці електрифіковано 2092,5 км або 46 % експлуатаційної довжини залізниці, при цьому питома вага електротяги в загальному вантажообігу залізниці складає більше 92 %. На залізниці працює 33 тягові підстанції, 43 райони контактної мережі, 23 райони електропостачання, 4 монтерські пункти, один будівельно-монтажний поїзд, дорожня електротехнічна лабораторія.

Великий вклад у розвиток господарства у відповідні періоди часу здійснили Зубець П.Г., Зоргач Р.П., Пронічев І.С., Щорс В.М., Діаконенко А.М., Литовець В.Т., Малишев В.Т., Туришев А.Г., Степанюк В.С., Сухомлинов В.О. та багато інших.

### **Південна залізниця**

Історія електрифікації Південної залізниці розпочалася із дня пуску в липні 1959 року першого електропоїзду від станції Харків-

пасажи́рський в сторону Мерефи. Уже в 1958 році контактну мережу протягнули від Козачої Лопані до Лозової (205,1 км). До 1971 року Харківське, Білгородське та Куп'янське відділення були повністю електрифіковані.

Станом на сьогодні на залізниці електрифіковано 1232,8 км або 44 % експлуатаційної довжини залізниці, при цьому питома вага електротяги в загальному вантажообігу залізниці складає близько 50 %. На залізниці працює 41 тягова підстанція, 28 районів контактної мережі, 12 районів електропостачання, 16 монтерських пунктів, дорожня електротехнічна лабораторія.

Великий вклад у розвиток господарства у відповідні періоди здійснили Майоров В.К., Пономарьов В.І., Козачок М.П., Гордєєв В.М., Дядченко В.М., Коробка О.Т., Семанчук В.К., Шевцов В.І., Рябець П.М., Масалов М.А. та багато інших

### **Львівська залізниця**

Літопис електрифікації залізниці розпочався з 1956 року, коли було відкрито рух на електротязі на перевальній дільниці Мукачево – Лавочне (77 км). Саме на цій складній дільниці електрична тяга прийшла на заміну паровій.

В 1960-1962 році були введені в експлуатацію дільниці Мукачево – Чоп, Лавочне – Стрий, Стрий – Львів. Електрифікація цих дільниць мала велике значення для здійснення транспортних зв'язків з Чехією, Словаччиною, Угорщиною.

В 1964-1966 році електрифіковано дільницю на змінному струмі Здолбунів – Красне – Львів, яка стала одним із ланцюгів залізничних магістралей Донбас-Кривий Ріг – Львів – Держкордон, Київ – Львів – Держкордон.

У 1967 році на Львівському залізничному вузлі введена одна із самих складних станцій стикування змінного і постійного струму.

В цей же період введено в експлуатацію електрифікований напрямок Обшорин – Самбір – Сянки – Ужгород, а в 1971-1972 рр. Львів – Мостиська-2 Держкордон.

На даний час на залізниці електрифіковано 1424,2 км або 32 % експлуатаційної довжини залізниці, при цьому питома вага електротяги в загальному вантажообігу залізниці складає більше 80 %. На залізниці працює 55 тягових підстанцій, 31 район контактної мережі, 10 районів електропостачання, 19 монтерських пунктів, один електромонтажний поїзд, дорожні електромеханічні майстерні, дорожня електротехнічна лабораторія.

Великий вклад у розвиток господарства у відповідні періоди здійснили Македонський Є.Ю., Нетяженко В.І., Аникін Л.А., Куракін І.В., Катонов Л.М., Замай Ф.С., Пузик Д.Г., Максимов П.С., Сабуров В.В., Петров В.Ф., Корнієнко В.В., Роговик Л.В., Лутчак Г.І. та багато інших.

### **Одеська залізниця**

Електрифікація Одеської залізниці розпочалася у 1960 році. Перша дільниця Знам'янка – П'ятихатки довжиною 115 км була введена в експлуатацію 30 вересня 1962 року.

В 1963 році введено в експлуатацію дільницю Знам'янка – Шевченко – Миронівка, в 1971 – Хіровка – Помічна – Колосовка, в 1972 – Колосовка – Одеса, в 1974 переведений на електротягу Одеський залізничний вузол, включаючи приміську дільницю до ст. Білгород-Дністровський.

Інтенсивна електрифікація відбувалася в період 1985-1992 років. В ці роки були введені в експлуатацію електрифіковані ділянки Знам'янка – Долинська, Вапнярка – Котовськ – Помічна.

Сьогоднішній стан залізниці – це 1701,8 км електрифікованих дільниць або 42,4 % від їх експлуатаційної довжини, при цьому питома вага електротяги в загальному вантажообігу залізниці складає більше 85 %. На залізниці працює 30 тягових підстанцій, 42 райони контактної мережі, 23 райони електропостачання, 19 монтерських пунктів, дорожня електротехнічна лабораторія.

Великий вклад у розвиток господарства у відповідні періоди здійснили Цихман А. І., Сімаков Б. К., Ращупкін В. М., Григорьев В. М., Хлизов М. М., Струнова Т. С., Вохмінцев Б. О., Самбірський А. С. та інші.

### **Донецька залізниця**

Електрифікація на Донецькій залізниці розпочалася із дільниць Слов'янськ – Славкурорт (1958-1961 рр., 8 км), Лозова – Микитівка (1958-1961 рр., 170,3 км), Чаплино – 450 км (1959 р., 137,3 км.). Інтенсивно проводилася електрифікація в 1960-1965 роках та продовжується і зараз.

Станом на 1 січня 2008 року на залізниці електрифіковано 1281,8 км або 46 % експлуатаційної довжини залізниці, при цьому питома вага електротяги в загальному вантажообігу залізниці складає близько 90 %. На залізниці працює 58 тягових підстанцій, 39 районів кон-

тактної мережі, 22 райони електропостачання, 13 монтерських пунктів, дорожня електротехнічна лабораторія.

Великий вклад у розвиток господарства у відповідні періоди здійснили Бурдін М.М., Філь І.М., Немінущій П.С., Аверкін В.І., Буковський В.І., Бітюков С.Д., Коломієць В.В. та багато інших.

### **Сучасний стан і обсяги електрифікації. Електрифікація залізниць України за період її незалежності. Перспектива електрифікації**

Найбільші обсяги електрифікації на території України за радянські часи були здійснені за період 1956-1960 рр. – 1147,7 км, 1961-1965 – 2094,52 км, 1966-1970 – 1722,9 км, 1971-1975 – 1388,9 км, в подальшому за п'ятирічку до 1991 року в експлуатацію вводилось 419-624 км нових електрифікованих ліній.

22 червня 1993 року в Державній адміністрації залізничного транспорту України (Укрзалізниця) створено Головне Управління зв'язку, енергетики і обчислювальної техніки. Вперше в практиці залізниць СНГ в структуру робочого апарату був введений Главк, який об'єднав три великі управління, такі як, Управління автоматики, телемеханіки та зв'язку, Управління електрифікації та електропостачання, Управління обчислювальної техніки.

Одним із напрямків роботи Управління електрифікації та електропостачання Укрзалізниці було здійснення технічної політики щодо електрифікації залізниць. За його ініціативою була розроблена та затверджена Державна програма електрифікації залізниць України на період 1994-2004 рр. Цією програмою передбачалося здійснити електрифікацію 2148 км експлуатаційної довжини залізниць, що в свою чергу повинно було сприяти збільшенню питомої ваги електротяги до 85 %. За рахунок реалізації Програми електрифікації протягом 1994-2004 року полігон електрифікації на залізницях України збільшено на 1127,42 км або на 13,6 %. Повністю реалізувати завдання Програми не дозволило фінансове положення залізниць України та відсутність фінансування зі сторони держави.

Значний вклад у розвиток електрифікації залізниць України у період 1993-2010 роки внесли такі фахівці як Анохов І.В., Корнієнко В.В., Малишко І.В., які у відповідні періоди очолювали Головне управління електрифікації та електропостачання, Пасічний В.І. – заступник начальника Головного управління електрифікації та електропостачання, начальники служб елек-

тропостачання – Донецької – Дем’яненко О.І., Бітюков С.Д., Південної – Козачок М.П., заступник начальника служби – Дядченко В.М., Південно-Західної – Сухомлинов В.О., Одеської Суглобов О.І. та інші.

12.09.2005 року наказом №284-Ц було затверджено Проект напрямків електрифікації залізниць України на 2005-2008 роки, згідно з яким за рахунок власних коштів залізниць України та залученням коштів інвесторів передбачалося здійснити електрифікацію 875 км головних колій залізниць. Відповідно до встановлених завдань за рахунок коштів залізниць було електрифіковано напрямки Дебальцеве – Комунарськ (35 км) Донецької залізниці, Коростень – Шепетівка (152 км) Південно-Західної та Полтава – Люботин (116 км) Південної, всього 303 км.

Наказом від 08.11.2007 №525-Ц затверджена та введена в дію Програма електрифікації залізниць України на 2008-2020 рр.

Програма електрифікації залізниць України на 2008-2020 роки (далі Програма) є одним із пріоритетних напрямків розвитку залізничного транспорту України.

В умовах постійно зростаючих цін на нафтопродукти та значної зовнішньоекономічної залежності України від постачальників нафтопродуктів електрифікація залізниць набуває особливої актуальності для загального підвищення економічної ефективності залізничного транспорту, зменшення його негативного впливу на навколишнє природне середовище, забезпечення високих соціальних стандартів транспортних послуг.

Оптимальним, на думку міжнародних експертів, для країн з розвинутою залізничною інфраструктурою є електрифікація 50-60 % загальної довжини залізничних мереж країни з виконанням ними 90-95 % загального обсягу перевезень.

На сьогодні за абсолютною довжиною електрифікованих залізниць Україна займає 10-те місце серед країн світу та 6-те серед країн Європи.

Метою Програми є електрифікація найбільш економічно обґрунтованих напрямків залізниць України і зниження за рахунок цього витрат залізниць на енергоносії, зменшення собівартості перевезень та підвищення якості послуг з перевезення вантажів та пасажирів.

Програма передбачає електрифікацію 2254 кілометрів залізничних колій. При її реалізації експлуатаційна довжина електрифікованих залізничних колій України складе 11905,27 км, або 54,4% від загальної довжини колій.

Під час електрифікації виконується будівництво тягових підстанцій та спорудження тягової мережі. Паралельно ведеться монтаж ліній живлення пристроїв автоблокування, електричної централізації та зв’язку, ліній зовнішнього електропостачання. Також проводиться модернізація, реконструкція та впровадження нових систем СЦБ та зв’язку.

Завершення всього комплексу робіт дозволить виконувати перевезення на електротязі з виходом на порти Чорного моря, організувати рух пасажирських поїздів паралельним напрямком на Крим, частково розділити рух вантажних та пасажирських поїздів з виділенням високошвидкісних дільниць, збільшити пропускну спроможність напрямків.

Реалізація Програми дозволить розв’язати такі першочергові завдання галузі:

- зниження собівартості перевезень або сповільнення темпів її зростання при постійно зростаючих цінах на енергоносії;

- підвищення безпеки руху поїздів, якості обслуговування;

- пасажирів та прискорення перевізного процесу;

- забезпечення максимальної економії дизельного палива та інших паливно-мастильних матеріалів;

- впровадження видів тяги, які забезпечують найнижчу собівартість перевезень;

- поліпшення екологічного стану за рахунок зменшення шкідливих викидів в атмосферу.

Виконання електрифікації всіх вказаних в Програмі дільниць дасть змогу розширити полігон електрифікації на Укрзалізниці і зменшити обсяги перевезення тепло тягою в декілька разів. При цьому значно зменшуються щорічні витрати дизельного палива на тягу поїздів і досягається значна економія витрат коштів на оплату енергоносіїв. Також за рахунок зменшення витрат дизельного палива скорочуються платежі за забруднення навколишнього середовища.

За рахунок електрифікації дільниць Долинська – Миколаїв – Херсон – Вадим – Джанкой буде створений другий, паралельний основному, електрифікований хід на Крим та до портів Чорного моря.

Електрифікації напрямків Полтава – Красноград – Лозовата – Красноград – Новомосковськ сприяє розмежуванню вантажного та пасажирського руху на напрямках Київ – Донецьк, Білгород – Держжордон – Крим та Харків – Дніпропетровськ.

Електрифікація дільниць Бахмач-Гребінка-Черкаси – Ім. Т. Шевченка – Помічна, Конотоп

– Ворожба – Суми – Люботин дозволить відхилити вантажопотік на південь України та порти Чорного моря, оминаючи центральні регіони України, і дасть змогу вивільнити ділянку Конотоп – Бахмач – Ніжин – Дарниця для швидкісного пасажирського руху у напрямку Москви та розвантажити Дарницький залізничний вузол, що знаходиться у межах мегаполісу Київ.

За рахунок електрифікації створюється соціальний ефект – поява додаткових робочих місць по експлуатації нових пристроїв електропостачання. На підприємствах-виробниках обладнання для потреб електрифікації в суміжних галузях вітчизняної промисловості будуть створюватися нові робочі місця, що забезпечує зайнятість населення, підвищує їх матеріальне становище, дозволить скоротити державні виплати з безробіття, витрати на перепідготовку кадрів і забезпечить збільшення надходжень до бюджетних і позабюджетних фондів за рахунок відрахувань з оплати праці, а також податку на додану вартість реалізованої продукції.

Станом на 01.01.2011 року експлуатаційна довжина електрифікованих залізниць України складає 9877 км, або 45,5 %, доля електротяги в експлуатаційній роботі дорівнює 89,7 %. При очіку-

ваному зростанні обсягів перевезень до 2020 року на 29,6 % в результаті виконання Програми електрифікації обсяги перевезень на електротязі зростуть на 51,3%, а перевезення теплотягою зменшаться більш як у три рази. При цьому полігон електрифікації зросте до 54,4 % і на кінець 2020 року електричною тягою буде перевозитися близько 95 % вантажів та пасажирів.

На сьогоднішній день у зв'язку із завданнями щодо розмежування напрямків руху вантажних і пасажирських поїздів та впровадження руху швидкісних поїздів здійснюється перегляд заходів з електрифікації залізниць України на найближчі сім років та їх перезатвердження.

**Ключові слова:** електрична тяга, електрифікація, економічне використання енергоресурсів, собівартість перевезень.

**Ключевые слова:** электрическая тяга, электрификация, экономическое использование энергоресурсов, себестоимость перевозок.

**Keywords:** electric traction, electrification, economic using of energy, the transportation costs.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПРОВЕДЕНИЕ ПРИЁМО-СДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

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

Главным направлением решения задачи повышения энергетических показателей станций для испытания тяговых электрических машин является уменьшение количества и минимизация суммарной мощности преобразователей, используемых в схеме взаимной нагрузки. Выполнение этого требования при выборе варианта схемы взаимной нагрузки является необходимым условием достижения экономической эффективности модернизации существующих испытательных станций.

Определение полезной мощности источников испытательного стенда, необходимой для проведения испытаний, представляет собой отдельную задачу, решение которой позволит оценить энергетическую эффективность того или иного варианта испытательной станции [1].

Программа приёмо-сдаточных испытаний тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока в соответствии с требованиями ГОСТ 2582-81 включает в себя следующие мероприятия [2]:

- измерение сопротивления обмоток в практически холодном состоянии;
- испытание на нагревание;
- проверка частоты вращения и реверсирования;
- испытание на повышенную частоту вращения;
- проверка коммутации;
- испытание электрической прочности изоляции обмоток (межвитковой, относительно корпуса, между собой);
- проверка биения коллектора;
- измерение сопротивления изоляции обмоток (относительно корпуса, между собой);
- проверка уровня вибрации.

Отдельно рассмотрим те пункты программы приёмо-сдаточных испытаний, которые требуют нагружения испытуемых электрических машин.

Режим 1. Испытание на нагревание. Тепловые испытания являются самым энергоёмким мероприятием из всего перечня программы

приёмо-сдаточных испытаний. Целью данных испытаний является определение превышения температуры перегрева частей тяговой электромашин в часовом режиме работы. В соответствии с ГОСТ 8582-81 электрические машины постоянного и пульсирующего тока испытывают при номинальном напряжении и часовом токе в течение одного часа.

При тепловых испытаниях электрических двигателей номинальное значение напряжения и часовое значение тока устанавливают на испытуемой электрической машине, работающей на стенде в режиме двигателя:

$$U_{д} = U_{н};$$

$$I_{д} = I_{ч},$$

где  $U_{д}$ ,  $I_{д}$  – напряжение и ток испытуемого двигателя соответственно;

$U_{н}$  – номинальное напряжение испытуемых электромашин;

$I_{ч}$  – часовой ток испытуемых электромашин.

Суммарная полезная мощность источников энергии (электрической или механической) стенда взаимной нагрузки определяется по формуле

$$\sum P_{и} = U_{д} I_{д} (1 - \eta_{д}) + U_{г} I_{г} (1 - \eta_{г}),$$

где  $U_{г}$ ,  $I_{г}$  – напряжение и ток испытуемого генератора соответственно;

$\eta_{д}$ ,  $\eta_{г}$  – к. п. д. испытуемых двигателя и генератора соответственно.

При упрощенных оценочных расчетах можно использовать формулу

$$\sum P_{и} = 2U_{д} I_{д} (1 - \eta),$$

где  $\eta$  – к. п. д. однотипных испытуемых электромашин.

Мощность  $\sum P_{и}$  изменяется в течение времени испытаний в связи с повышением сопро-

тивления обмоток электромашин при нагревании, соответствующим увеличением электрических потерь и снижением к. п. д.

Максимальное значение суммарной полезной мощности источников испытательного стенда в конце тепловых испытаний в упрощённом виде будет определяться как

$$\sum P_{\text{и1max}} = 2U_{\text{н}} I_{\text{ч}} (1 - \eta_{\text{ч}}),$$

где  $\eta_{\text{ч}}$  – часовое значение мощности к. п. д.

В соответствии с ГОСТ 183-74 для электрических машин постоянного тока мощностью свыше 50 кВт допускается отклонение к. п. д., соответствующее превышению общих потерь на 10%, что соответствует уменьшению к. п. д. на величину  $0,1(1 - \eta_{\text{н}})$ . Тогда минимально допустимое возможное значение к.п.д. тяговой электромашин будет определяться как

$$\eta_{\text{min}} = 1,1\eta_{\text{ч}} - 0,1.$$

При этом выражение для максимальной суммарной полезной мощности источников испытательного стенда примет вид

$$\sum P_{\text{и1max}} = 2,2U_{\text{н}} I_{\text{ч}} (1 - \eta_{\text{ч}}).$$

Суммарная полезная энергия источников, затрачиваемая на проведение тепловых испытаний, будет определяться в виде

$$\sum Q_{\text{и1}} = 2U_{\text{н}} I_{\text{ч}} \left[ t_{\text{и1}} - \int_0^{t_{\text{и1}}} \eta(t) dt \right],$$

где  $\eta(t)$  – к.п.д. электромашин в функции времени;

$t_{\text{и1}}$  – длительность тепловых испытаний (3600 с).

Режим 2. Проверка частоты вращения и реверсирования. Целью данных испытаний является проверка тяговых электромашин на соответствие требованиям ГОСТ 2582-81 в части допусков отклонений частоты вращения в номинальном режиме от типового значения номинальной частоты вращения.

Выполнение данной проверки требует изменение частоты вращения якоря при номинальных значениях напряжения, тока и степени возбуждения в двигательном режиме работы испытуемой электромашин

$$\begin{cases} U_{\text{д}} = U_{\text{н}}; \\ I_{\text{д}} = I_{\text{н}}; \\ \beta = \beta_{\text{н}}, \end{cases}$$

где  $I_{\text{н}}$  – номинальное типовое значение тока испытуемой электромашин (часовой или длительный ток);

$\beta_{\text{н}}$  – номинальное значение систем возбуждения.

Для выполнения проверки частоты вращения и реверсирования необходима возможность взаимного изменения режимов работы испытуемых электромашин (двигатель-генератор), а также направления их вращения.

Проверка частоты вращения и реверсирования в соответствии с ГОСТ 2582-81 проводится на нагретой электрической машин. Суммарная полезная мощность источников испытательного стенда при этой проверке определяется формулой

$$\sum P_{\text{и2}} = 2,2U_{\text{н}} I_{\text{н}} (1 - \eta_{\text{н}}),$$

где  $\eta_{\text{н}}$  – к.п.д. в номинальном режиме.

Суммарная полезная энергия источников, расходуемая на проверку

$$\sum Q_{\text{и2}} = 2U_{\text{н}} I_{\text{н}} \left[ t_{\text{и2}} - \int_0^{t_{\text{и2}}} \eta(t) dt \right],$$

где  $t_{\text{и2}}$  – длительность проверки частоты вращения и реверсирования.

При данной проверке обмотки электромашин продолжают нагреваться и, строго говоря, для определения значения  $\sum Q_{\text{и2}}$  необходимо определение зависимости  $\eta(t)$  в течение времени  $t_{\text{и2}}$ . В упрощённом виде формула для  $\sum Q_{\text{и2}}$  может быть представлена при условии постоянства  $\eta$  как

$$\sum Q_{\text{и2}} = \sum P_{\text{и2}} \cdot t_{\text{и2}}.$$

Режим 3. Испытание на повышенную частоту вращения. Целью данных испытаний является проверка работоспособности электрической машин после непродолжительного (2 минуты) вращения на холостом ходе с частотой, превышающей наибольшее её типовое значение на 20, 25 или 35%.

Для тяговых двигателей электровозов и электропоездов переменного тока, питающихся от выпрямительной установки, включенных

параллельно, испытательная повышенная частота вращения

$$n_{и1} = 1,25n_{max},$$

где  $n_{max}$  – наибольшая типовая частота вращения.

Для тяговых двигателей электровозов и электропоездов постоянного тока и электровозов двойного питания, постоянно попарно соединённых последовательно, испытательная частота вращения

$$n_{и2} = 1,35n_{max}.$$

Для вспомогательных электрических машин постоянного тока

$$n_{из} = 1,2n_{max}.$$

Испытательная повышенная частота вращения для тяговых двигателей электропоездов постоянного тока, спроектированных до 1981 г., определяется в виде

$$n_{и1} = 1,25n_{max}.$$

Учитывая то, что испытания на повышенную частоту вращения проводят при холостом ходе, величины напряжения и тока определяются в основном механическими потерями и магнитной характеристикой испытуемых электромашин.

Суммарная полезная мощность источников энергии испытательного стенда при данной проверке

$$\sum P_{из} = \Delta P_{мехд} + \Delta P_{мехг},$$

где  $\Delta P_{мехд}$  и  $\Delta P_{мехг}$  – механические потери испытуемых двигателя и генератора соответственно при повышенной частоте вращения.

При упрощённых расчетах можно использовать формулу

$$\sum P_{из} = 2\Delta P_{мех}(n_{и}),$$

где  $\Delta P_{мех}(n_{и})$  – механические потери в однотипных испытуемых электрических машинах, соответствующие испытательной частоте вращения  $n_{и}$  по типовым характеристикам механических потерь.

Значение  $\Delta P_{мех}(n_{и})$  для тяговых двигателей с независимой вентиляцией может быть в 2-3 раза больше суммарных потерь при номинальном режиме. Механические потери, соответствующие повышенной частоте вращения, в

двигателях с самовентилиацией на порядок выше этих же потерь в номинальном режиме.

Суммарная полезная энергия источников стенда, расходуемая на испытание повышенной частотой вращения

$$\sum Q_{из} = \sum P_{из} \cdot t_{из},$$

где  $t_{из}$  – длительность испытания на повышенную частоту вращения (120 с).

Режимы 4-6. Проверка коммутации. Проверка коммутации является той частью программы приёмо-сдаточных испытаний тяговых электрических машин, которая в сравнении с испытаниями на нагрев требует существенной перегрузки источников испытательного стенда по току, напряжению, моменту и частоте вращения (для источников механической мощности). Целью данных испытаний является определение работоспособности щёточно-коллекторного узла электрической машины при перегрузках по напряжению, току, частоте вращения, искажающему действию реакции якоря.

При проверке коммутации тяговых электрических двигателей постоянного тока ГОСТом 2582-81 предусмотрено три режима испытания. При проверке коммутации вспомогательных машин – два режима.

Выполнение проверки коммутации по каждому из режимов 1, 2, 3, 8 (ГОСТ 2582-82) проводится визуальная оценка степени искрения (не более  $1\frac{1}{2}$ ) при вращении электромашины в течение 30 с в каждом направлении, а также последствий самого искрения (возникновение кругового огня, остаточные деформации, повреждение коллектора и щеточного узла).

Выполнение проверки коммутации вспомогательных машин в режиме 9 предусматривает ту же визуальную оценку степени искрения и его последствий при пятикратном пуске, способом, соответствующим работе на электроподвижном составе. Рассмотрим каждый из упомянутых режимов отдельно.

Режим 4. Проверка в режиме 4 выполняется при номинальном напряжении, двойном часовом токе и номинальной степени возбуждения:

$$\begin{cases} U_{д} = U_{н}; \\ I_{д} = 2I_{ч}; \\ \beta = \beta_{н}. \end{cases}$$

Суммарная полезная мощность источников испытательного стенда для каждого режима будет определяться в виде

$$\sum P_{и4} = 4U_{н} I_{ч} (1 - \eta_4),$$

где  $\eta_4$  – значение к. п. д. однотипных испытуемых электрических двигателей в режиме 4.

Учитывая то, что значение к.п.д.  $\eta_4$  не является типовым параметром испытуемых электромашин, для данного режима может быть более удобной в использовании формула

$$\sum P_{и4} = 2 \left[ 4I_{ч}^2 R_{гор} + \Delta P_{xx4} \right],$$

где  $R_{гор}$  – сопротивление обмоток в горячем состоянии;

$\Delta P_{xx4}$  – потери холостого хода в режиме 4.

Потери холостого хода являются функцией тока возбуждения и частоты вращения. Частота вращения сама является функцией тока якоря при постоянных напряжении и коэффициенте ослабления поля.

$$\Delta P_{xx4} = \Delta P_{xx} (n_1, 2I_{ч}) \text{ при } I_{в4} = I_{в} (2I_{ч}, \beta_{н}).$$

$$n_4 = n_{xx} (2I_{ч}) \text{ при } U = U_{н}; \beta = \beta_{н}.$$

Ток возбуждения в режиме 4

$$I_{в4} = 2\beta_{н} I_{ч}.$$

Суммарная полезная энергия источников испытательного стенда

$$\sum Q_{и4} = \sum P_{и4} \cdot t_{и4},$$

где  $t_{и4}$  – длительность испытания в режиме 4.

Режим 5. Проверка в режиме 5 выполняется при наибольшем напряжении, наибольшей частоте вращения и наименьшей степени возбуждения:

$$\begin{cases} U_{д} = U_{\max}; \\ n = n_{\max}; \\ \beta = \beta_{\min}. \end{cases}$$

Суммарная полезная мощность источников испытательного стенда для режима 5

$$\sum P_{и5} = 4U_{\max} I_5 (1 - \eta_5),$$

где  $I_5$ ,  $\eta_5$  – значения тока и к. п. д. в режиме 5 соответственно.

Ни значение тока  $I_5$ , ни к. п. д.  $\eta_5$  не являются типовыми параметрами испытуемых

электромашин. Поэтому более удобной в использовании может быть формула

$$\sum P_{и5} = 2 \left[ 4I_5^2 R_{гор} + \Delta P_{xx5} \right],$$

где  $\Delta P_{xx5}$  – потери холостого хода в режиме 5.

Потери холостого хода являются функцией тока возбуждения и частоты вращения. Ток является функцией частоты вращения при постоянных напряжении и коэффициенте ослабления поля.

$$\Delta P_{xx5} = \Delta P_{xx} (n_{\max}, I_5) \text{ при } I_{в5} = I_{в} (I_5, \beta_{\min}).$$

$$I_5 = I(n_{\max}) \text{ при } U_{д} = U_{\max}; \beta = \beta_{\min}.$$

Ток возбуждения в режиме 5

$$I_{в5} = \beta_{\min} I_5.$$

Суммарная полезная энергия источников испытательного стенда

$$\sum Q_{и5} = \sum P_{и5} \cdot t_{и5},$$

где  $t_{и5}$  – длительность испытания в режиме 5.

Режим 6. Проверка в режиме 6 выполняется при наибольшем напряжении, наибольшем пусковом токе и наименьшей степени возбуждения:

$$\begin{cases} U_{д} = U_{\max}; \\ I_{д} = I_{\max}; \\ \beta = \beta_{\min}. \end{cases}$$

Суммарная полезная мощность источников испытательного стенда для режима 6

$$\sum P_{и6} = 2U_{\max} I_{\max} (1 - \eta_6),$$

где  $\eta_6$  – значение к. п. д. в режиме 6.

Значение к.п.д.  $\eta_6$  не является типовым параметром испытуемых электромашин. Поэтому более удобной в использовании может быть формула

$$\sum P_{и6} = 2 \left[ I_{\max}^2 R_{гор} + \Delta P_{xx6} \right],$$

где  $\Delta P_{xx6}$  – потери холостого хода в режиме 6.

Потери холостого хода являются функцией тока возбуждения и частоты вращения. Частота вращения является функцией тока при постоянных напряжении и коэффициенте ослабления поля.

$$\Delta P_{xx6} = \Delta P_{xx} (n_6, I_{\max})$$

при  $I_{в6} = I_{в} (I_{\max}, \beta_{\min})$ .

$n_6 = n(I_{\max})$  при  $U = U_{\max}; \beta = \beta_{\min}$ .

Ток возбуждения в режиме 6

$$I_{в6} = \beta_{\min} I_{\max}.$$

Суммарная полезная энергия источников испытательного стенда

$$\sum Q_{и6} = \sum P_{и6} \cdot t_{и6},$$

где  $t_{и6}$  – длительность испытания в режиме 6.

В качестве энергетического показателя качества послеремонтных испытаний тяговых электрических машин методом взаимной нагрузки может быть использован коэффициент энергетической эффективности испытаний, равный отношению полных потерь энергии в испытуемых электромашинах к общим затратам электроэнергии на проведение испытаний.

Необходимо отметить, что сумма потерь мощностей в испытуемых электромашинах (электрические, магнитные, механические потери) является полезной мощностью, затрачиваемой на проведение испытаний. Это те потери, которые не зависят, или, по крайней мере, не должны зависеть ни от структуры испытательной системы, ни от характеристик источников, регуляторов, и преобразователей. Более

того, условия проведения испытаний должны обеспечивать полное соответствие характеров энергетических процессов в электромашинах в условиях испытаний и реальной эксплуатации. Суммарные потери мощности в преобразователях и регуляторах являются потерями, связанными с обеспечением испытаний, и должны быть минимизированы путем структурной оптимизации системы взаимного нагружения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жерве, Г. К. Промышленные испытания электрических машин [Текст] / Г. К. Жерве. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.
2. ГОСТ 2582-81. Государственный стандарт СССР. Машины электрические вращающиеся тяговые. Госстандарт СССР. 1981. – 50 с.

**Ключові слова:** тягові електричні машини, приймально-здавальні випробування, корисна енергія.

**Ключевые слова:** тяговые электрические машины, приемно-сдаточные испытания, полезная энергия.

**Keywords:** traction electrical machines, receiving and acceptance tests, the useful energy.

## PROBLEMS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY CONTROL COMMAND DEVICES AND ROLLING STOCK

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

### 1. Introduction

A prospect of opening of passenger rail market and introduction into the PKP network high-speed trains (over 160 km/h) is inextricably related with the use of modern rolling stock. From the electromagnetic compatibility point of view this rolling stock significantly differs from the traditional one (higher power, numerous presence of various systems and power processing and feeding devices). As a result, the issue of improvement of compatibility of the rolling stock with systems and devices of railways technical equipment, their complexity and direct influence on railway traffic safety should be treated thoroughly and as a high priority. Moreover, new measurement techniques and technologies and new areas of knowledge concerning compatibility of device operation should be sanctioned in regulations in force.

There should be specified railway traffic control systems and devices sensitive to disruptions, and elaborated requirements concerning broadly defined rolling stock electromagnetic compatibility with railway traffic control devices (rtc). These requirements legitimised in regulations in force. It will allow the infrastructure owner to achieve several objectives, such as:

- Limiting cases of rtc devices disrupted operation,
- Eliminating of financial losses due to cases of durable breakdown of rtc devices or their elements caused by disruptions,
- Eliminating of financial losses due to rtc devices disrupted operation,
- Eliminating of risks caused by rtc devices disrupted operation,
- Improvement of railway traffic safety,
- Eliminating of work interference related to rtc devices disrupted operation.

Operation frequency analysis of railway traffic control devices

Research data published in literature and gathered experiences indicate that track circuits and train sensors operating as track circuits are the most sensitive to disruptions.

Experiences gathered in the last few years (in different railway board) show that also axle counters are sensitive to disruptions, in particular caused by high-power locomotives.

Table 1 presents operation frequencies of track circuits, train sensors and axle counters applied in the network of Polish infrastructure owner PKP PLK S.A.

Table 1

**List of operation frequencies for rtc devices**

Track circuit type	Operation frequency [kHz]
Classic	0,05
Jointless linear and station track	1.58; 1.86; 2.17; 2.47; 2.8
Jointless point track	7; 8; 10; 12.15; 14.6; 16.8
Train sensors	10; 14.6; 19.0; 20.8; 23.4; 26.1; 28.7; 31.5; 34.6; 38.2
Axle counter	27; 42; 46; 48; 250; 1000; 1228

The frequencies listed above, or to be more precise, frequency bands will be considered further.

### 1.1 Operation Frequency Analysis of Traction Substations and Traction Stock

The PKP PLK S.A. network uses, above traction substations with 6 and 12 halfwave rectifiers. Theoretically, at the traction substation output only harmonics resulting from rectifiers

operation should appear, that is 300, 600 Hz (and harmonics of these frequencies). However, for various reasons (i.e. transformers or rectifiers non-symmetry) at the substation outlet appear harmonics of 50 and 100 Hz, all their harmonics, and harmonics resulting from super-positioning of basic substations harmonics and harmonics of 50

and 100 Hz. The 50 and 100 Hz harmonics levels depend on the quality of substation elements (transformers, rectifiers).

Filters (smoothing devices) used in traction substations are quite a different issue. This refers both to a filter type and their operation or non-operation. In the aspect of disruptions, two conditions of filter operation should be assumed that is: switched filters and disabled filters. In both cases the proportions between specific harmonics are different and depend on parameters of traction substation elements. Moreover, theoretical studies and research results until now gathered indicate that substations working with resonance filters, in comparison with substations equipped with gamma filters, are less stable in terms of operation disruption. There are several reasons for it. They are, among others derangement of resonance filters and non-suppression by these filters of 50 and 100 Hz frequencies.

Traction stock generates, above all, harmonic resulting from the converters operation. Converters of locomotives and electrical multiple units produced nowadays, work on frequency band from 30 to 300 Hz. Older type locomotives work with choppers on 33 1/3 Hz, 100 Hz and 300 Hz frequencies. Static converters usually work on frequencies of a few kHz.

In practice, every traction vehicle generates specific harmonics. Their repeatability appears only in some vehicle series using the same converter type.

Modern traction stock (traction vehicles, static converters, etc.) are usually equipped with filters that sufficiently suppress products of energy transformation in the stock. It is important to emphasise, that not all filters in the traction stock sufficiently suppress harmonics generated by converters. This refers, above all to static converters. Another issue is a manner of mass and earthing leading on the vehicle. Their inappropriate performance is often a cause of increase in disruption level, resulting from, among others entering of disruptions to traction networks (above all return network) beyond the installed filters.

In some cases of the use of high-power traction vehicles, an influence on sensors applied in axle

counters appeared. A probable reason for this (European railways will conduct a research to explain this issue next year) are electromagnetic fields generated by rolling stock elements (traction engines, filter traction elements, etc.) or resonance in the return traction network.

## 2. Research Methodology

In order to provide electromagnetic compatibility between the rolling stock and railway traffic control devices, acceptable disruption parameters influencing rtc devices should be defined. In order to define acceptable disruption levels and a choice of assessment criteria for receivers of rtc devices, their features of sensibility to disruptions should be specified. The first one is defined on the basis of calculation of signal threshold values at which the receiver operates correctly. These parameters encompass: amplitude, frequency, impulse duration and impulse process time. Features of the rtc devices receiver's sensibility to disruptions are defined on the basis of disrupting signal parameters, similarly as in the case of defining sensibility and disruption parameters that may lead to improper operation of the receiver or its damage.

The issue of electromagnetic interferences may be omitted in the measurements, as the experience shows, that this type of disruptions have a negative influence at higher amplitudes of the signal. Disrupting influence in turn is significant at the continuous signal.

Research should be conducted in laboratory conditions, and for a comparison – in the field.

Laboratory analysis was conducted for:

- Subassemblies of 50 Hz track circuits with isolated joints,
- Subassemblies of jointless track circuits,
- Receivers of train sensors.

Fig. 1, 2 and 3 show examples of specific measurement systems aimed at analysis of sensitivity and resistance to disruptions of track circuits in laboratory conditions.

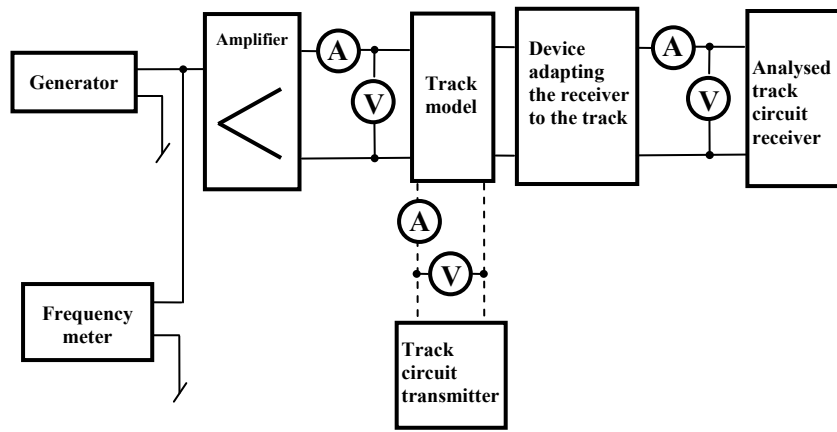


Fig. 1. Measurement system for laboratory analysis of track circuits with isolated joints

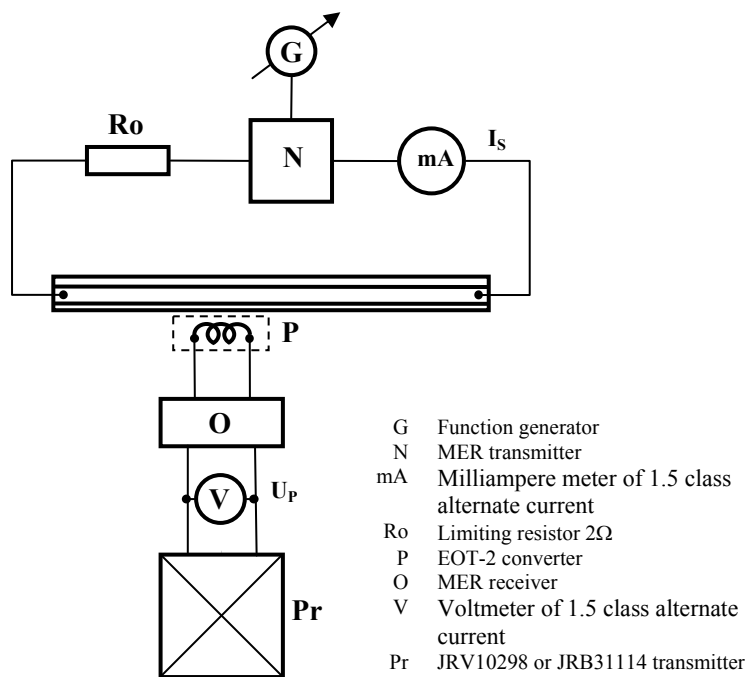


Fig. 2. Measurement system for laboratory analysis of current receivers sensitivity of jointless track circuits

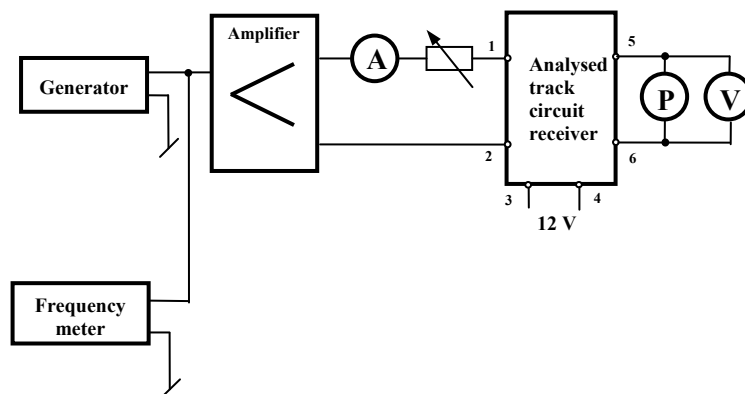


Fig. 3. Measurement system for laboratory analysis of voltage receivers' sensitivity of jointless track circuits

Field analysis should be performed according to the schemes presented in Fig. 4 and Fig. 5.

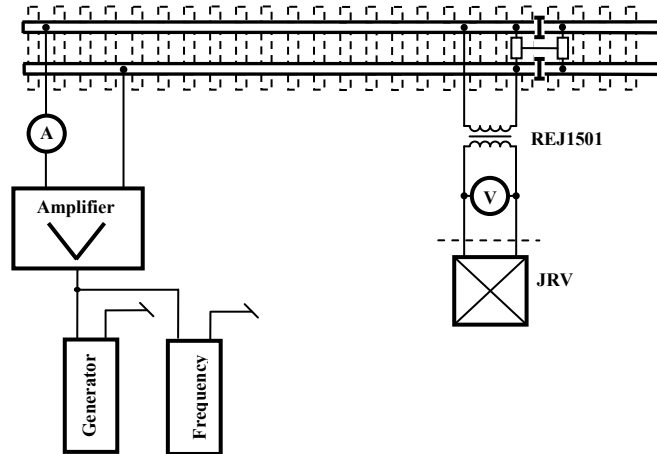


Fig. 4. Measurement system for field analysis of classic track circuit

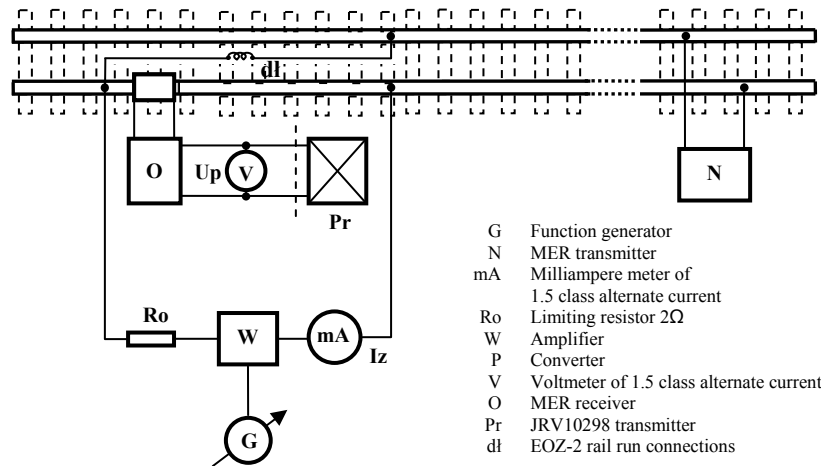


Fig. 5. Measurement system for field analysis of jointless track circuits

### 3. Acceptable Disruption Parameters

Depending on the effects of traction current influence, inappropriate operation of rtc devices can be defined as:

- **disrupting** – where safety conditions of railway traffic are maintained, but the disruption effects are, ie. lower railway throughput capacity, and unplanned stopping of trains (energy losses),

- **dangerous** – where safety conditions of railway traffic are not maintained (i.e. a track signalling device shows green light allowing driving, instead of red one). In any case, such a

situation is unacceptable due to a potential danger of a disaster.

As all the rtc devices are located close to the tracks, and a part of them are directly connected to rails (the traction return network), they are exposed to a negative influence of traction currents.

Acceptable disruption parameters in rtc devices depend, above all on the applied device types. That is why, the devices of maximum resistance level should be used.

### 4. Defining of Reserve Coefficients

Features of receivers' sensitivity and characteristics of disturbance are a starting point of the disturbance assessment. Defining of

disturbance acceptable parameters for a given rtc device type requires assuming adequate reserve coefficients. For track circuit receivers, being the most exposed to electric traction disruptions, acceptable disruption amplitudes should be defined for three cases:

- a) free track circuit, zero working signal, the presence of disrupting signal;
- b) free track circuit, the presence of disrupting signal, upon occupation of the track circuit, the receiver (transmitter) must slow down,
- c) free track circuit, the presence of signal.

As a result the following terms were assumed:

$A_R$  – amplitude of track circuit working signal;

$A_p$  – amplitude of track transmitter attraction (induction);

$A_0$  – amplitude of track transmitter slowdown (de-induction);

$A_z$  – amplitude of disruptions.

$A_R : A_z = S$  – working signal to disruptions ratio.

For the cases of track circuits conditioned mentioned previously, the acceptable amplitudes of disruptions will be as follows:

- $A_z < A_p$  that is  $A_z \cdot S_1 < A_p$

- $S_1$  – coefficient of an interval of track circuit signal causing induction from disturbances of track transmitter,

- $A_z < A_0$  that is  $A_z \cdot S_2 < A_0$

- $S_2$  – coefficient of an interval of track circuit signal causing de-induction from disturbances of track transmitter,

- $A_p - A_z > A_0$

- $A_z < A_p - A_0$  that is  $A_z \cdot S_3 < A_p - A_0$

- $S_3$  – coefficient of an interval between disruptions and working signal excess over induction signal.

The following values of reserve coefficients were assumed:  $S_1=1,2$ ;  $S_2=1,1$ ;  $S_3=1,1$ .

### 5. Calculating of Acceptable Parameters of Disruptions

Defining of acceptable parameters of disruptions require taking into account of track circuit sensitivity, reserve coefficients and current distribution on rails. The following issues should be considered:

- a) Jointless track circuits with galvanic coupling of the receiver with the track;

- b) Jointless track circuits with induction coupling of the receiver with the track;

- c) Single-rail track circuits with isolated joints;

- d) Two-rail track circuits with isolated joints;

For example, for track circuits from point a) calculations for the case presented in Fig. 6. were performed. The presence of asymmetry in railways was assumed due to, i.e. a rail break (marked by  $R_1$  and  $R_2$  resistors). For the values indicated in the picture, a maximum value of current flowing through the receiver was presented. The results are shown in Table 2. The obtained maximum value of current in the receiver (49,1%) can be defined as 50% of the total current in the railways. It means, that in the calculations of acceptable parameters, the acceptable (in this case) disruptive current (resulting from the receiver's sensitivity) should be multiplied by 2.

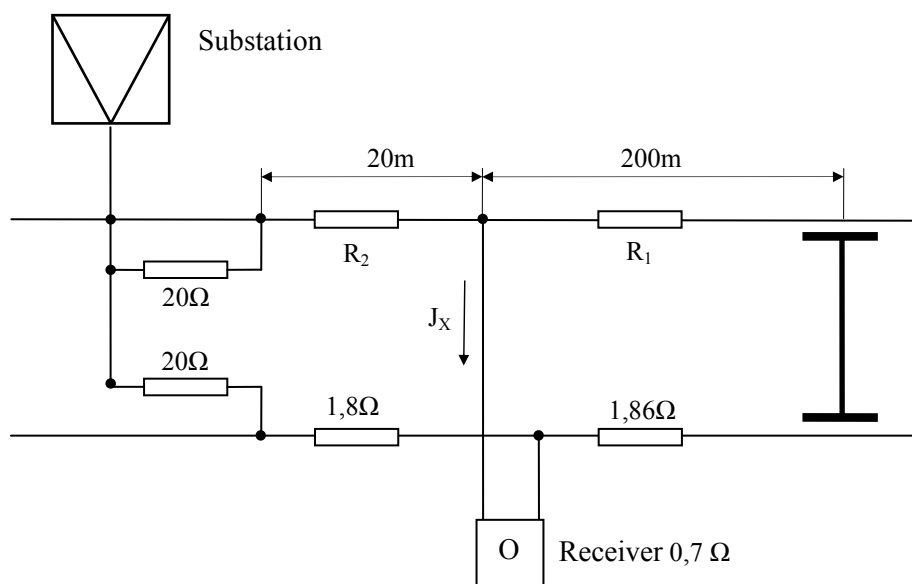


Fig. 6. Movement situation to calculate disruptions in a jointless track circuit with voltage reception

Current flowing through the receiver for different resistance values from Fig. 6

$R_1$ [at $R_2=18,6\Omega$ ] [ $\Omega$ ]	1,8	5	10	18	100k	
$I_x$ [%]	0	3.3	7	13.1	49	
$R_2$ [at $R_1=1,8\Omega$ ] [ $\Omega$ ]	18,6	30	50	150	180	100k
$I_x$ [%]	0	11.3	22.3	38.1	39.8	49.1

### 6. Examples of Analyses Results

Fig. 7-10 presents examples of laboratory and filed analyses results.

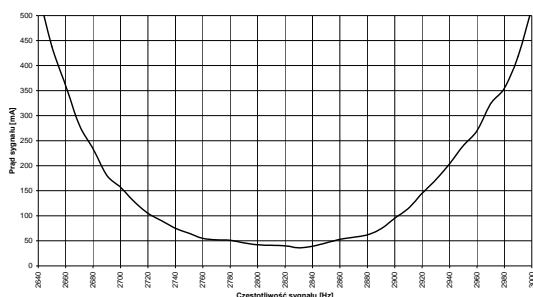


Fig. 7. Sensitivity features of MER111404/5 receiver in frequency function

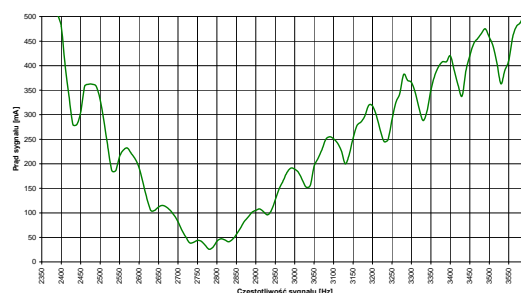


Fig. 8. Sensitivity features of MER111401/4 receiver in frequency function

Fig. 7 and Fig. 8 present features of jointless track circuit receivers working on 2800 Hz frequency. Picture 7 refers to a new type receiver, whereas Fig. 8 to an older one (year of production: 1991). The features of the new receiver are regular and symmetric with respect to the centre

frequency, whereas the older receiver does not reveal these characteristics. Thus it can be assumed that railway traffic control devices should be retired after 20 years. A longer operation period leads to the loss of initial properties of their specific elements (although still working safely).

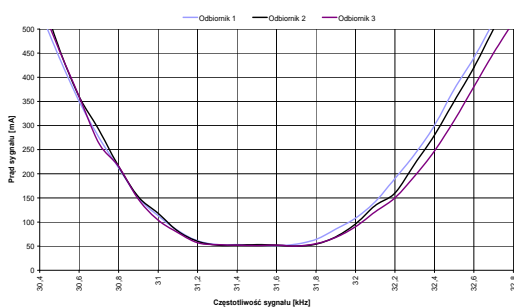


Fig. 9. Sensitivity features of a jointless track circuit receiver of current type

Fig. 9 presents features of jointless track circuit receivers operating as train sensors. The characteristics measured for three receivers are identical. It is a proof of their perfect technical condition.

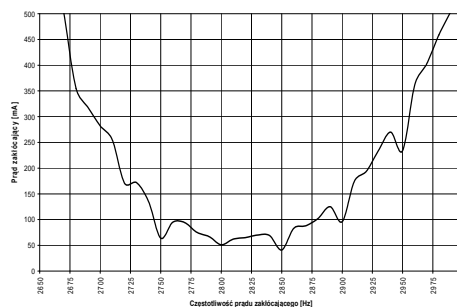


Fig. 10. Sensitivity features of a jointless track circuit receiver on a disruptive continuous signal

Fig. 10 shows sensitivity features of jointless track circuit receivers measured on the railway. The characteristics measured in laboratory conditions are identical. It appeared that the applied measurement systems give identical results and thus measurements may be conducted in laboratory

conditions. This may significantly reduce their cost and time required for their performance.

Fig. 11 and Fig. 12 showing values of acceptable parameters of disturbances for jointless track circuit receivers, indicate that old-type receivers present very irregular features (compare with Fig. 8),

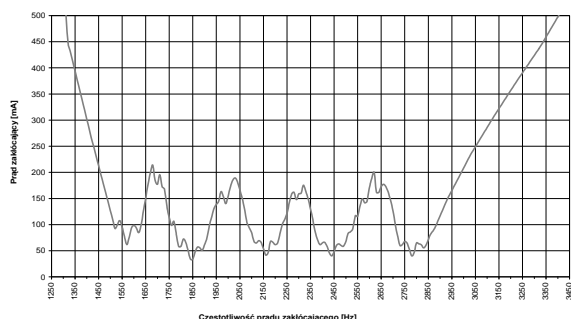


Fig. 11. Values of acceptable parameters of disturbances for old-type current jointless track circuit receivers

## 7. Conclusion

On the basis of the performed analyses and research, it can be assumed that:

By means of the adopted methods of laboratory and field analyses of sensitivity features of track circuit receivers, the analogous results were obtained. It allows conducting only laboratory analyses, which will reduce costs and time needed for their performance.

Old-type railway receivers of jointless track circuits should be retired due to parameter non-compliance and significantly higher sensitivity to disruptions.

The obtained values of acceptable parameters of disruptions should be applied to define maximum disruption levels generated by the rolling stock (including traction vehicles) to the traction network.

## References

1. PN-EN 50238-1: Zastosowania kolejowe. Kompatybilność pomiędzy taborem urządzeniami wykrywania pociągu. Wiadomości ogólne. [Railway applications. Compatibility between rolling stock and train detection devices. General.]

2. PN-EN 50238-2: Zastosowania kolejowe. Kompatybilność pomiędzy taborem urządzeniami wykrywania pociągu. Kompatybilność z obwodami torowymi. [Railway applications. Compatibility between rolling stock and train

whereas new-type receivers have regular characteristics. Moreover, acceptable values of disruptive currents ARE twice as much higher for new-type receivers. This fact leads to an obvious conclusion that old-type receivers should be retired.

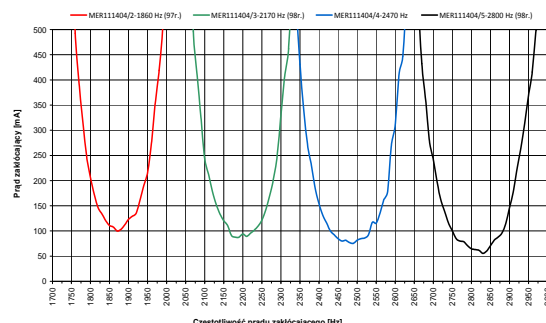


Fig. 12. Values of acceptable parameters of disturbances for new-type current jointless track circuit receivers

detection devices. Compatibility with track circuits.]

3. PN-EN 50238-3: Zastosowania kolejowe. Kompatybilność pomiędzy taborem urządzeniami wykrywania pociągu. Kompatybilność z licznikami osi. [Railway applications. Compatibility between rolling stock and train detection devices. Compatibility with axle meters.]

4. Białoń A. i inni „Opracowanie dopuszczalnych parametrów zakłóceń dla urządzeń srk, łączności i pojazdów trakcyjnych”. Praca CNTK nr 6915/23 Warszawa, 1999 r. [Białoń A. et al. Study of acceptable parameters of disruptions for rtc devices, communication and traction vehicles.]

5. Białoń A. i inni Określenie dopuszczalnych poziomów i parametrów zakłóceń dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym, ETAP 1. Praca IK nr 4430/10, WARSZAWA, grudzień 2010 r. [Białoń A. et al. Defining of acceptable levels and parameters of disruptions for railway traffic control devices.]

**Keywords:** disruption, electromagnetic compatibility, railway traffic control devices.

**Ключові слова:** відмова, електромагнітна сумісність, пристрої залізничної автоматики.

**Ключевые слова:** отказ, электромагнитная совместимость, устройства железнодорожной автоматики.

## ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ, ТЕПЛОВИХ І МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У МАЛОГАБАРИТНОМУ СТРУМООБМЕЖУВАЛЬНОМУ РЕАКТОРІ

*Представив д.т.н., професор Костін М.О.*

Широке застосування комплектних розподільчих установок (КРУ) на електричних станціях та підстанціях викликає необхідність створення малогабаритних струмообмежувальних та згладжуючих реакторів. Вони не потребують окремого приміщення, компактні, мають значно менші втрати, ніж застосовувані досі, наприклад, на тягових підстанціях, бетонні реактори [1].

Дослідження електричних та інших процесів у реакторі, вплив його електромагнітних полів на металеві конструкції та розташовані поблизу апарати, прилади можна значно полегшити, використовуючи фізичне моделювання цих процесів. Створення фізичної моделі реактора дає змогу передбачити особливості конструкції, впливу на суміжні пристрої та обладнання. Розрахунки індуктивностей котушок різної конфігурації наведені в [2].

При фізичному моделюванні явища, що порівнюються, мають однакову природу та відрізняються лише кількісно.

Таке моделювання дозволяє поглибити знання про комплекс виникаючих явищ та уточнити математичний опис окремих процесів. Знаходження критеріїв подоби при фізичному моделюванні полегшується тим, що системи, складні з подібних елементів, становляться подібними при дотриманні подоби граничних умов [3].

Вибравши за незалежний коефіцієнт подоби масштаб лінійних розмірів  $m_\ell$ , визначимо масштаби окремих параметрів моделі індуктивної котушки (однієї фази трифазного реактора).

Величини, що стосуються моделі, будемо позначати з індексом "М".

Масштаби індуктивності та омичного опору, виходячи з умови ідентичності конструкції та геометричної подоби, відповідно дорівнюють [4]:

$$m_L = \frac{L_M}{L} = m_\ell; \quad m_r = \frac{r_M}{r} = \frac{\rho_M}{\rho} \cdot \frac{1}{m_\ell}.$$

Тобто ( $m = 1/m_\ell$  за умов однакових питомих опорів моделі та оригіналу  $\rho_M = \rho$ )

При конструюванні реакторів важливим показником є додаткові втрати в обмотці реактора. Вони обумовлені поверхневим ефектом, ефектом близькості та іншими проявами змінного електромагнітного поля. В силу цього коефіцієнти подоби додаткових втрат (або, що те ж саме, масштаби кратності збільшення активного опору) слід визначати на основі аналізу рівнянь електромагнітного поля реактора.

Без урахування струмів зміщення та переносу електромагнітне поле в провідному середовищі описується рівняннями Максвела [5]:

$$\begin{aligned} \text{rot} \vec{H} &= \vec{J}; \\ \vec{J} &= \gamma \vec{E}; \\ \text{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \\ \vec{B} &= \mu_a \vec{H}; \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\gamma$  - питома провідність середовища;  $\mu_a$  - абсолютна магнітна проникність.

Вводячи в рівняння (1) векторний магнітний потенціал  $\vec{A}$   $\vec{B} = \text{rot} \vec{A}$ , визначимо напруженість магнітного поля

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_a} = \frac{\text{rot} \vec{A}}{\mu_a} \quad (2)$$

Підставивши останній вираз в перше рівняння системи (1), отримаємо

$$\text{rot} \text{rot} \vec{A} = \mu_a \gamma \vec{E}. \quad (3)$$

Подальші перетворення приводять до виду

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} \text{rot} \vec{E} = \text{rot} \left( -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right), \quad (4)$$

або

$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}, \quad (5)$$

Підставляючи (5) в (3), отримаємо

$$\text{rot rot } \vec{A} = -\mu_a \gamma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}, \quad (6)$$

або, з урахуванням кутової частоти змінного поля

$$\text{rot rot } \vec{A} = -\mu_a \gamma \omega \frac{\partial \vec{A}}{\partial(\omega t)}, \quad (7)$$

Це рівняння є вихідним для визначення коефіцієнта подоби кратності активного опору.

При подоби геометричних розмірів моделі та оригіналу котушки мають місце наступні співвідношення [4]:

$$l_M = m_\ell l; \quad \mu_M = m_\mu \cdot \mu; \quad \gamma_M = m_\mu \cdot \gamma;$$

$$\omega_M = m_\mu \cdot \omega.$$

Електромагнітне поле моделі описується рівнянням, аналогічним (7), але з урахуванням відповідних масштабів

$$\frac{1}{m^2 l} \text{rot rot } \vec{A} = -m_\mu m_\gamma m_\omega \mu \gamma \omega \frac{\partial \vec{A}}{\partial(\omega t)},$$

або

$$\text{rot rot } \vec{A} = -m_\mu m_\gamma m_\omega m_\ell^2 \mu \gamma \omega \frac{\partial \vec{A}}{\partial(\omega t)}. \quad (8)$$

З порівняння виразів (7) та (8) витікає, що

$$m_\mu m_\gamma m_\omega m_\ell^2 = 1, \quad (9)$$

Це можливо лише за умови

$$\mu \gamma \omega l^2 = \text{const}, \quad (10)$$

Рівняння (10) і є критеріальним рівнянням подоби електромагнітних полів оригіналу та моделі. Виходячи з (9) та (10), отримаємо масштаб частоти, за якої електромагнітні поля моделі та оригіналу адекватні, а отже, рівні кратності активного опору

$$m_\omega = \frac{1}{m_\mu m_\gamma m_\ell^2}, \quad (11)$$

При однакових електричній провідності та магнітній проникності маємо

$$m_\omega = \frac{1}{m_\ell^2}, \quad (12)$$

Випробовуючи модель при частоті, що відповідає масштабу (12), можна визначити коефіцієнт додаткових витрат оригіналу. Подоби електромагнітних полів можна досягти і без підвищення частоти. З (11) витікає, що критеріальне рівняння задовольняється за промислової частоти при підвищенні провідності матеріалу моделі.

При дослідженні магнітного поля поза провідниками котушки частота живлячого струму не має значення, бо напруженість поля прямо пропорційна струмові.

Щоб напруженість поля моделі дорівнювала напруженості поля оригіналу  $H_M = H$ , необхідно забезпечити умову

$$I_M = m_i I, \quad (13)$$

де  $m_i = m_\ell$ .

Умову (13) не завжди можна виконати, бо допустимий струм моделі обмежується нагрівом обмотки.

Проте при струмі в моделі, що відрізняється від потрібного за виразом (13), напруженість поля легко перераховується.

Виміряні на моделі за допомогою індукційного датчика [6] значення вертикальної складової напруженості поля у порівнянні з розрахунками наведені на рис.1.

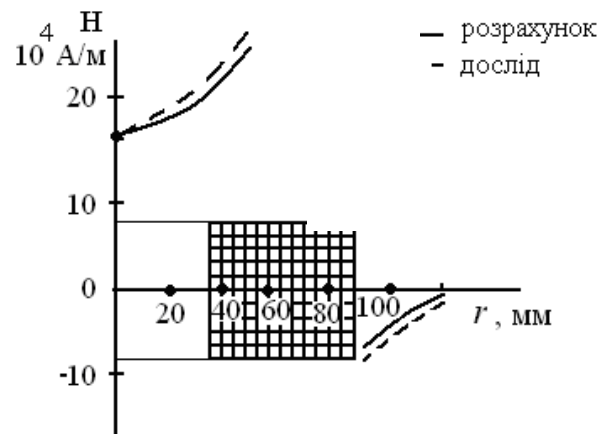


Рис.1. Напруженість магнітного поля моделі реактора

Як вказано в [4], сили взаємодії між окремими дисками (котушками) реактора оригіналу і моделі відносяться як  $F_M = m^3 F$ , позначаючи коефіцієнт геометричної подоби  $m = m_\ell$ .

Тоді напруженість в деталях кріплення визначається за масштабом, який можна знайти, наприклад, за деформацією розтягіння

$$\sigma = \frac{F}{S},$$

$$\sigma_M = \frac{F_M}{S_M} = \frac{m^3 F}{m^2 S} = m\sigma, \quad (14)$$

де  $S$ ,  $S_M$  - площа перерізу деталі, відповідно, оригіналу та моделі.

Відомо, що активний опір за підвищеної частоти по відношенню до омичного можна визначити формулою

$$r = \rho \frac{l}{S} k_d, \quad (15)$$

де  $k_d$  - коефіцієнт додаткових втрат.

Активний опір моделі при цьому

$$r_M = \rho_M \frac{l_M}{S_M} k_{dM}, \quad (16)$$

Омичний опір моделі визначається як

$$r_{0M} = \rho \frac{ml}{m^2 S} = \frac{r_0}{m}, \quad (17)$$

Для умови  $k_{dM} = k_d$  необхідно, щоб

$$f_M = \frac{f}{m^2}, \quad (18)$$

Цю умову легко виконати, тоді отримаємо, що

$$r_M = \frac{r}{m}, \quad (19)$$

Масштаб індуктивного опору при цьому буде

$$X_M = \omega_M L_M = \frac{\omega}{m^2} mL = \frac{X}{m}, \quad (20)$$

Стала часу електричних перехідних процесів у моделі дорівнює

$$T_{eM} = \frac{L_M}{r_M} = m^2 \frac{L}{r} = m^2 T_e, \quad (21)$$

Так як умову (13) для моделі може виявитись виконати важко, визначимо масштаб струму за умови однакового питомого знімання тепла з одиниці охолоджувальної поверхні

$$\frac{I_M^2 r_M}{S_M} = \frac{I^2 r}{S},$$

звідки

$$I_M = \sqrt{m^3} I, \quad (22)$$

На моделі можна дослідити процеси примусового охолодження реактора. Швидкість охолоджувального повітря в каналах моделі повинна дорівнювати швидкості повітря в натурі, тому що [4]

$$\alpha_v = \alpha_0 (1 + 1,3\sqrt{v}), \quad \alpha_M = \alpha, \quad (23)$$

де  $\alpha_v$  - коефіцієнт тепловіддачі вентилязованого тіла, Вт/(°C·см²)

$v$  - швидкість повітряного потоку, м/с;

$\alpha_0$  - коефіцієнт тепловіддачі тіла в спокійному повітряному середовищі.

Стала часу теплових процесів моделі за розгляду нагрівання котушки як однорідного тіла дорівнює

$$T_{TM} = \frac{c_{0M} G_M}{\alpha_M S_M}, \quad (24)$$

де  $c_{0M}$  - питома теплоємність;

$G_M$  - маса моделі.

Оскільки модель виконується з тих же матеріалів, що й натурний зразок, і  $\alpha_M = \alpha$ , то

$$T_{TM} = \frac{c_0 G_M}{\alpha S_M} = \frac{c_0 m^3 G}{\alpha m^2 S} = m T_T, \quad (25)$$

Суттєвою власною характеристикою реактора є його частотна характеристика

$$X(\omega) = (X_L - X_C) f(\omega).$$

Вигляд частотної характеристики реактора подано на рис. 2.

Резонансна кутова частота обмотки реактора (індуктивної котушки) з урахуванням міжвиткової ємності визначається з умови резонансу

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C},$$

тобто

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Як було вказано раніше, для моделі

$$L_M = mL,$$

а ємність (між двома плоскими електродами)

$$C = \epsilon_a \frac{S}{d},$$

де  $\epsilon_a$  - абсолютна діелектрична проникність середовища (ізоляції);

$S$  - площа електродів

$d$  - відстань між електродами.

Тоді ємність моделі

$$C_M = \varepsilon_a \frac{S_M}{d_M} = \varepsilon_a \frac{m^2 S}{md} = mC, \quad (26)$$

а)

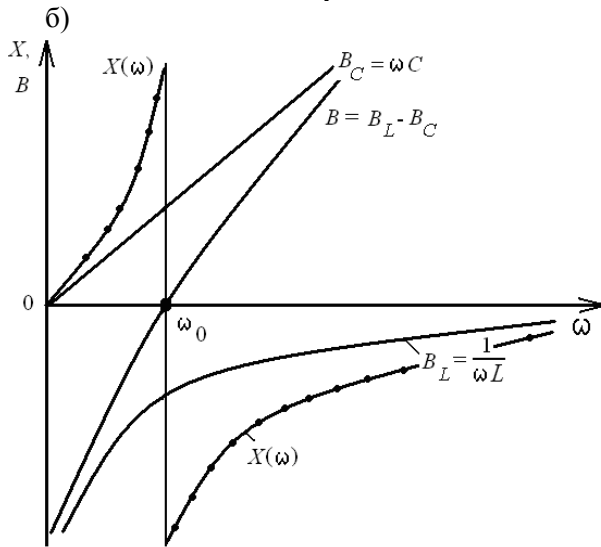
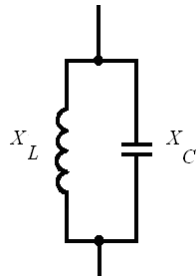


Рис. 2. Частотна характеристика реактора:  
а) заступна схема; б) залежності реактивних опорів та провідностей від частоти

А резонансна кутова частота моделі

$$\omega_{0M} = \frac{1}{\sqrt{mL \cdot mC}} = \frac{\omega_0}{m}, \quad (27)$$

За формулами, наведеними в [4], виконано розрахунок малогабаритного реактора оптимальних розмірів. Індуктивність реактора прийнята 5 мГн, номінальний струм – 6,5 кА.

Витрати металу та втрати електроенергії в малогабаритному реакторі менші приблизно на 30%, ніж в стандартному бетонному РБА. При цьому геометричні розміри зменшуються в 1,5 – 2 рази.

За допомогою фізичного моделювання досліджуються магнітні поля, електричні, теплові та інші фізичні процеси в реакторі [4, 6]. Це дозволяє виконати перевірку розрахунків, знайти найбільш вдалі конструктивні рішення при підготовці серійного випуску індуктивних котушок та реакторів.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Почаевец В. С. Электрические подстанции: Учебник для техникумов / В.С.Почаевец. – М: Желдориздат, 2001. – 268 с.
2. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей. – М: Энергия, 1985.– 488 с.
3. Веников В. А. Применение теории подобия и физического моделирования в электротехнике. –М: Госэнергоиздат, 1949. – 167 с.
4. Ансберг Г. А. Проектирование малогабаритных реакторов и дросселей/ Труды ДИИТ, вып.77. – М: Транспорт, 1968. –С. 3 – 21.
5. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники часть 3. Теория электромагнитного поля. – М: Энергия, 1975. – 208 с.
6. Рязанов Г. А. Электрическое моделирование с применением вихревых полей./ Г. А. Рязанов. – М: Наука, 1969 – 336 с.

**Ключові слова:** моделювання, малогабаритний реактор, струмообмеження.

**Ключевые слова:** моделирование, малогабаритный реактор, токоограничение.

**Keywords:** modeling, small-sized reactor, current limit.

## РОЗВИТОК МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПОКРИТТІВ В РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ УСТАНОВКАХ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

*Представив д.т.н., професор Костін М.О.*

Однією з ресурсозберігаючих технологій які є перспективними для впровадження на ремонтних підприємствах залізничного транспорту є технологія імпульсного електроосадження металів.

В свою чергу, проблема пошуку нових, більш ефективних, режимів роботи комплексів імпульсного електроосадження металів невідривно пов'язана з задачею їх математичного моделювання та аналізу відповідних електричних кіл. Передбачення значень електричних величин у цих колах, що є показниками якості та кількісного росту осаджуваних покриттів при широкій зміні параметрів елементів, кола та вхідної дії, легко здійснити при наявності загальних (аналітичних) залежностей зазначених величин.

Для отримання таких залежностей, у свою чергу, є необхідним розвиток та вдосконалення аналітичних методів аналізу електрохімічних кіл, що враховують їх особливості, зокрема наявність у складі їх схем заміщення мінімум двох реактивних елементів, активних елементів (лінійних або нелінійних, у тому числі і з суттєвими нелінійностями), можливість виникнення тривалих перехідних процесів (до години і більше), тощо. В роботі [3] виконано порівняльний аналіз існуючих на сьогодні методів аналізу нелінійних систем, які застосовують в теоретичній електротехніці та суміжних галузях знань, і зроблено висновок, що для застосування, з метою аналізу електрохімічних кіл, найбільш придатним є метод перетворення змінних. Власне розвитку та адаптації цього методу і присвячена згадана робота [3].

Слід відзначити, що схемам заміщення електрохімічних кіл, котрі розроблено, як в роботі [3], так і в більш ранніх роботах інших авторів, наприклад [1,5], притаманний той недолік, що вони не враховують зміну параметрів елементів кола у часі, зокрема збільшення активного опору електроліту внаслідок зменшення концентрації іонів металу у ньому а також впливу теп-

лових процесів. Отже, питання впливу зміни активного опору електроліту на основні електричні показники властивостей осаджуваних покриттів лишається недослідженим. Тому метою цієї роботи є аналіз електромагнітних процесів в електрохімічному колі електролізера осадження металу на основі параметричної моделі та отримання аналітичної часової залежності прикатодного спаду напруги, як основного електричного показника якості осаджуваного покриття на основі методу перетворення змінних.

Елементи схеми заміщення електролізера імпульсного осадження металевих покриттів (рис. 1) відображають такі процеси: утворення подвійного шару зарядів біля поверхні катоду ( $C_k$ ), процес осадження металу (лінійний елемент  $R_{mk}$ ), утворення магнітного поля при протіканні струму через електроліт ( $L$ ). Особливостями даної схеми є, по-перше, врахування зміни у часі теплових втрат у електроліті ( $R(t)$ ), по-друге, припущення про неполярну взаємозв'язок між прикатодним спадом напруги і катодним струмом розрядження іонів металу (зокрема, це має місце при осажденні мідних покриттів). Явищем виділення водню на катоді знехтувано як другорядним у порівнянні з явищем розрядження іонів металу.

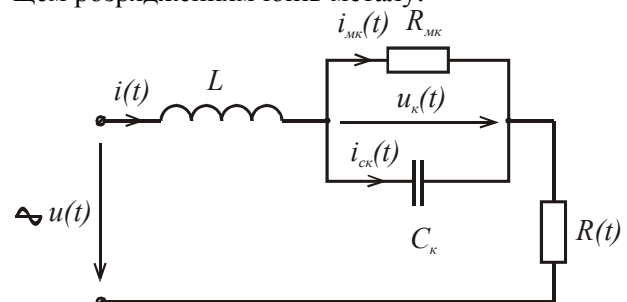


Рис. 1.

Тоді, якщо залежність  $R(t)$  апроксимувати експоненціальною характеристикою

$R(t) = k_1 \cdot e^{k_2 t}$ , система рівнянь електромагнітного стану кола рис.1 запишеться у вигляді:

$$i(t) = i_{mk}(t) + i_{ck}(t), \quad (1)$$

$$u(t) = u_{\kappa}(t) + L \frac{di(t)}{dt} + R(t) \cdot i(t), \quad (2)$$

$$i_{mk}(t) = \frac{u_{\kappa}(t)}{R_{\kappa}}, \quad (3)$$

$$i_{ck}(t) = C_{\kappa} \frac{du_{\kappa}(t)}{dt}. \quad (4)$$

Незалежні початкові умови:

$$u_{\kappa}(0) = 0, \quad i(0) = 0. \quad (5)$$

У наведених рівняннях:  $i(t)$  – повний струм електролізера;  $i_{mk}(t)$  – частковий струм розряду іонів металу на катоді;  $i_{ck}(t)$  – ємнісний струм катоду;  $u_{\kappa}$  – прикатодний спад напруги; (катодна поляризація);  $C_{\kappa}$  – ємність подвійного (катодного) шару зарядів;  $R_{mk}$  – активний опір прикатодного шару, еквівалентний осадженню металу;  $k_1, k_2$  – коефіцієнти апроксимації;  $R(t)$  – часова залежність активного опору електроліту;  $L$  – індуктивність електролізера.

Вхідна напруга живлення електролізера не-синусоїдна однопівперіодна (рис.2, крива 1). Розкладемо її в ряд Фур'є, обмежившись при цьому нульовою, першою та другою гармоніками (рис.2, крива 2).

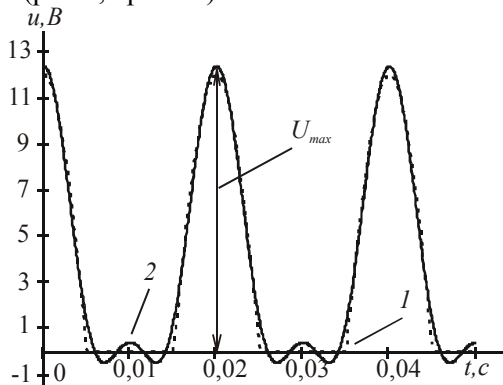


Рис. 2.

Тоді

$$u(t) = \frac{2 \cdot U_{max}}{\pi} \cdot \left( \frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} \cos \omega t + \frac{1}{3} \cos 2\omega t \right) = U^{(0)} + U_m^{(1)} \cos \omega t + U_m^{(2)} \cos 2\omega t, \quad (6)$$

де  $U_{max}$  – максимальне значення вхідної напруги;  $U_m^{(1)} = \frac{U_{max}}{2}$  – амплітуда першої гармоніки;  $U_m^{(2)} = \frac{2 \cdot U_{max}}{3 \cdot \pi}$  – амплітуда другої гармоніки.

Приведемо систему (1) – (4) до параметричного диференціального рівняння другого порядку, що складено відносно прикатодного спаду напруги  $u_{\kappa}$  у вигляді

$$\frac{d^2 u_{\kappa}}{dt^2} + \left( \frac{k_1 e^{k_2 t}}{L} + \frac{1}{C_{\kappa} R_{\kappa}} \right) \frac{du_{\kappa}}{dt} + \left( \frac{k_1 e^{k_2 t}}{LC_{\kappa} R_{\kappa}} + \frac{1}{LC_{\kappa}} \right) \cdot u_{\kappa} = \frac{u(t)}{LC_{\kappa}} \quad (7)$$

$$\text{або} \quad \frac{d^2 u_{\kappa}}{dt^2} + N(t) \frac{du_{\kappa}}{dt} + T(t) \cdot u_{\kappa} = F(t), \quad (8)$$

$$\text{де} \quad N(t) = \frac{k_1 e^{k_2 t}}{L} + \frac{1}{C_{\kappa} R_{\kappa}}, \quad (9)$$

$$T(t) = \frac{k_1 e^{k_2 t}}{LC_{\kappa} R_{\kappa}} + \frac{1}{LC_{\kappa}}, \quad (10)$$

$$F(t) = \frac{u(t)}{LC_{\kappa}}. \quad (11)$$

Перетворимо параметричне неоднорідне рівняння (8) на лінійне неоднорідне рівняння з постійними коефіцієнтами (12)

$$h''(v) + h'(v) = W(v) \quad (12)$$

за допомогою співвідношень

$$h(v) = u_{\kappa}(t) \Phi(t), \quad (13)$$

$$v = \phi(t). \quad (14)$$

Слід відзначити, що споріднений прийом використано в [2] для розв'язання задач прикладної механіки, але відмінність полягає у тому, що в зазначеній роботі вихідне рівняння є, по-перше, нелінійно-параметричним, а, по-друге, однорідним, при цьому неавтономні системи взагалі не розглядаються.

Диференціюючи (13) двічі по  $v$  з урахуванням (14) отримуємо

$$\frac{dh}{dv} = \frac{dh}{dt} \cdot \frac{dt}{dv} = \left( \dot{u}_{\kappa}(t) \Phi(t) + \dot{\Phi}(t) \right) \frac{1}{\dot{\phi}(t)}, \quad (15)$$

$$\frac{d^2 h}{dv^2} = \frac{d}{dv} \left( \frac{dh}{dv} \right) = \frac{d}{dt} \cdot \left( \frac{dh}{dv} \right) \cdot \frac{dt}{dv} =$$

$$= \frac{1}{\dot{\phi}^3(t)} \left[ (\ddot{u}_\kappa(t) \Phi(t) + 2\dot{u}_\kappa(t) \dot{\Phi}(t) + u_\kappa(t) \ddot{\Phi}(t)) \dot{\phi}(t) - \right.$$

$$\left. - (\dot{u}_\kappa(t) \Phi(t) + u_\kappa(t) \dot{\Phi}(t)) \ddot{\phi}(t) \right]. \quad (16)$$

Підставляючи вирази (16) та (13) до (12) після перетворень маємо

$$\ddot{u}_\kappa + \left( \frac{2\dot{\Phi}(t)}{\Phi(t)} - \frac{\ddot{\phi}(t)}{\dot{\phi}(t)} \right) \dot{u}_\kappa +$$

$$+ \left( \frac{\ddot{\Phi}(t)}{\Phi(t)} - \frac{\dot{\Phi}(t)\ddot{\phi}(t)}{\Phi(t)\dot{\phi}(t)} + \dot{\phi}^2(t) \right) \cdot u_\kappa = \frac{\dot{\phi}^2(t)}{\Phi(t)} W(v). \quad (17)$$

Рівняння (8) та (17) співпадають, якщо

$$N(t) = \frac{2\dot{\Phi}(t)}{\Phi(t)} - \frac{\ddot{\phi}(t)}{\dot{\phi}(t)}, \quad (18)$$

$$T(t) = \frac{\ddot{\Phi}(t)}{\Phi(t)} - \frac{\dot{\Phi}(t)\ddot{\phi}(t)}{\Phi(t)\dot{\phi}(t)} + \dot{\phi}^2(t), \quad (19)$$

$$\frac{\dot{\phi}^2(t)}{\Phi(t)} W(v) = F(t), \quad (20)$$

Вирази (18) – (20) дозволяють наближено визначити невідомі функції  $\Phi(t)$ ,  $\phi(t)$ ,  $W(v)$ . Зокрема, якщо функції  $\Phi(t)$ ,  $\phi(t)$  змінюються повільно, тобто має місце нерівність

$$\frac{\ddot{\Phi}(t)}{\Phi(t)} - \frac{\dot{\Phi}(t)\ddot{\phi}(t)}{\Phi(t)\dot{\phi}(t)} \ll \dot{\phi}^2(t), \quad (21)$$

$$\text{вираз (19) можна спростити } \dot{\phi}(t) = \sqrt{T(t)} \quad (22)$$

При цьому з виразу (18) отримуємо:

$$\Phi(t) = \left[ e^{\int N(t) dt} \sqrt{T(t)} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (23)$$

$$\text{з виразу (20)} \quad W(v) = \frac{\Phi(t) F(t)}{\dot{\phi}^2(t)}, \quad (24)$$

$$\text{а з (22)} \quad \phi(t) = \int \sqrt{T(t)} dt, \quad (25)$$

Розв'язок рівняння (13) є відомим і має вигляд

$$h(v) = G_1 \cos v + G_2 \sin v +$$

$$+ \int (-\sin v \cdot W(v)) dv \cdot \cos v +$$

$$+ \int (\cos v \cdot W(v)) dv \cdot \sin v, \quad (26)$$

Враховуючи, що з (14) витікає співвідношення

$$dv = \dot{\phi}(t) dt, \quad (27)$$

в результаті зворотного перетворення змінних у виразі (26) маємо розв'язок рівняння (8)

$$u_\kappa(t) = \frac{1}{\Phi(t)} [G_1 \cos \phi(t) + G_2 \sin \phi(t) +$$

$$+ \int \left( -\sin \phi(t) \cdot \frac{\Phi(t) F(t)}{\sqrt{T(t)}} \right) dt \cdot \cos \phi(t) +$$

$$+ \int \left( \cos \phi(t) \cdot \frac{\Phi(t) F(t)}{\sqrt{T(t)}} \right) dt \cdot \sin \phi(t) ], \quad (28)$$

Постійні інтегрування у виразі (28) слід визначити з допомогою початкових умов (5).

В якості прикладу наведемо розрахунок часової залежності прикатодного спаду напруги в електролізері відновлення мідних контакторів електрорухомого складу залізниць при відсутності в електроліті поверхнево-активних речовин. Параметри схеми заміщення згідно з [3] та [4] наступні: активний опір катоду  $R_\kappa = 6,667 \cdot 10^{-3}$  Ом; питома ємність катоду  $C_{k0} = 8 \cdot 10^{-5}$  Ф/см<sup>2</sup>; площа катоду  $S_\kappa = 10000$  см<sup>2</sup>; індуктивність електролізера  $L = 2 \cdot 10^{-5}$  Гн. Коефіцієнти апроксимації:  $k_1 = 0,08$ ;  $k_3 = 0,00013$ . Максимальне значення напруги живлення  $U_{max} = 12$  В. Результати розрахунку наведено на рис.3 та 4. Залежність представлена на рис.3 свідчить, що при обраних значеннях параметрів елементів кола та вхідної дії перехідний процес у колі не тривалий (до 0,2 с) і характеризується відсутністю „стрибків” значень прикатодного спаду напруги, які могли б спричинити утворення дефектів кристалічної ґратки покриття. Крім цього характер зазначеної кривої показує, що процес осадження металу на катоді відбувається і в паузу живлячої напруги за рахунок енергії, яку запасє ємність  $C_k$ . Одночасно з рис.4 бачимо, що зменшення концентрації іонів в електроліті суттєво впливає на максимальне значення прикатодного спаду напруги (протягом 4 годин воно зменшується з 0,6 до 0,12 В), а, отже, і на властивості покриття, тому врахування параметричної залежності опору електроліту від часу є

важливим при аналізі електромагнітних процесів в електролізерах.

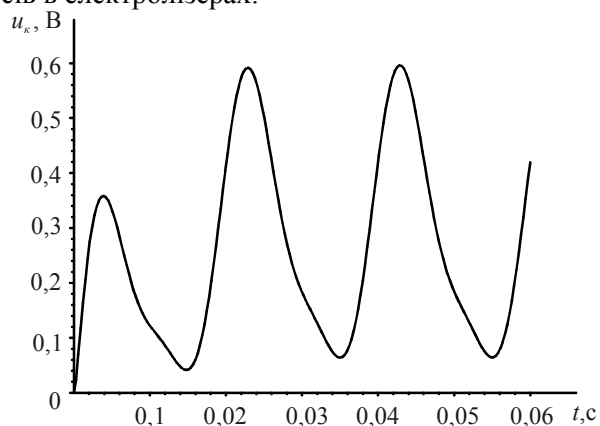


Рис. 3

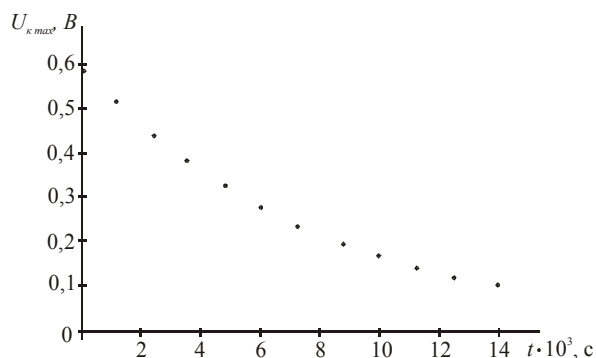


Рис. 4

Проведені у роботі дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

1. В математичній моделі електролізера осадження металевих покриттів, на відміну від попередніх робіт схожої тематики, враховано параметричну залежність активного опору електроліту від часу, що дозволяє більш точно прогнозувати електричні показники якості нанесених покриттів, зокрема форму і значення прикатодного спаду напруги.

2. Метод перетворення змінних є придатним до аналізу електромагнітних процесів в системах електроосадження металів. Як показано в роботі, вперше адаптовані до специфіки задачі регулярні прийоми дозволяють перехід від неоднорідного диференційного параметричного рівняння, що описує процеси у колі до лінійного неоднорідного диференційного рівняння з постійними коефіцієнтами.

3. Вперше отримана аналітична часова залежність прикатодного спаду напруги (вираз (29)) дозволяє за необхідності розраховувати перехідні або ж усталені процеси у досліджуваному колі, аналізувати вплив окремих параметрів на форму та значення електричних величин у колі, зокрема на максимальне значення прикатодного спаду напруги в усталеному режимі. Попе-

редній розрахунок перехідного процесу при цьому не є обов'язковим.

Серед перспектив подальших досліджень в розглянутому напрямку слід відзначити передусім необхідність провести адаптацію методу перетворення змінних до аналізу процесів у нелінійно-параметричних колах, що дозволить аналізувати процеси у колах електроосадження різних металів. Не менш актуальною залишається і розробка нових регулярних прийомів переходу від нелінійних рівнянь до лінійних з метою розповсюдження використання методу на інші класи електричних кіл та електротехнічних систем.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бондарь И.Л., Костин Н.А. Исследование нелинейных электрохимических цепей с помощью преобразований Тейлора [Текст]: / И. Л. Бондарь, Н. А. Костин // Электронное моделирование. – 1980. – №3. – С. 55 – 57.
2. Бондарь Н.Г. Некоторые автономные задачи нелинейной механики [Текст]: научное издание / Н. Г. Бондарь. Киев: Наукова думка, 1969.– 302с.
3. Бондар О.І. Аналіз електричних кіл з нелінійними електрохімічними елементами методом перетворення змінних [Текст]: Дисс... канд. техн. наук / О. І. Бондар. – Дніпропетровськ, 2006. – 181 с.
4. Каданер Л.И. Справочник по гальваностегии. [Текст]: научное издание / Л.И. Каданер. К.: Техніка, 1976. – 253 с.
5. Костин Н.А., Шейкина О.Г. Электроимпульсное осаждение металлов и сплавов [Текст]: / Н. А. Костин, О. Г. Шейкина // Технічна електродинаміка. Темат. вип. „Проблеми сучасної електротехніки”. – 2000. – Ч. 1. – С. 74–77.

**Ключові слова:** електролітичне відновлення, імпульсна установка, якість покриття, ресурсозбереження, деталі електрорухомого складу.

**Ключевые слова:** электролитическое восстановление, импульсная установка, качество покрытия, детали электроподвижного состава.

**Keywords:** electrolytic recovery, pulse setting, the quality of coverage, the details of electric rolling stock.

ВЛАСЬЕВСКИЙ С.В., СКОРИК В.Г., БУНЯЕВА Е.В., ФОКИН Д.С.  
(ГОУ ВПО ДВГУПС, ХАБАРОВСК, РФ)

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОВОЗА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПЛАВНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ НАПРЯЖЕНИЯ В РЕЖИМАХ ТЯГИ И РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Энергосбережение в локомотивном хозяйстве железнодорожного транспорта путем снижения удельного расхода электроэнергии на тягу поездов является важнейшим направлением повышения эффективности электрических железных дорог России. Современные электровозы переменного тока серий ВЛ80Р, ВЛ85, ВЛ65, ЭП1 и ЭС5К с плавным регулированием напряжения на тяговых двигателях содержат четырёх зонные выпрямительно-инверторные преобразователи (ВИП), которые имеют невысокий коэффициент мощности как в режиме выпрямителя (тяга электровоза), так и в режиме инвертора (электрическое рекуперативное торможение). Так, в тяге в номинальном режиме работы электровоза коэффициент мощности равен 0,84, а при рекуперативном торможении – 0,74. Такие показатели приводят к повышенному потреблению ими электроэнергии на тягу поездов. Это связано с достаточно большим углом сдвига фаз  $\varphi$  между током и напряжением в первичной обмотке тягового трансформатора электровоза, т.е. с повышенным потреблением реактивной энергии из контактной сети.

В качестве примера на рис. 1 показана упрощенная силовая схема современного электровоза с четырёхзонным ВИП на тиристорах, способным работать как в режиме тяги, так и рекуперативного торможения, а на рис. 2 и 3 показаны процессы работы ВИП на 4-ой зоне регулирования в режимах выпрямителя и инвертора соответственно. В режиме тяги электровоза электрическая машина (ЭМ) постоянного тока работает в качестве тягового двигателя с последовательным возбуждением, а в режиме рекуперативного торможения – генератора с независимым возбуждением. Схемы возбуждения ЭМ на рис. 1 не показаны.

Невысокий коэффициент мощности электровоза в режиме тяги связан с тем, что на современных электровозах в системе управления выпрямителя установлена достаточно большая величина нерегулируемого угла отпирания  $\alpha_0$  тиристорov (9-10 эл. град.), которая вместе с большой величиной (20-30 эл. град.) угла коммутации  $\gamma$  тиристорov при номинальной нагрузке создает большую ве-

личину угла  $\varphi$ . В состав угла коммутации  $\gamma$  входит сумма углов коммутации большого  $\gamma'$  и малого  $\gamma''$  контуров.

Низкий коэффициент мощности электровоза в режиме рекуперативного торможения связан с большой величиной угла  $\varphi$ , который напрямую зависит от угла опережения  $\beta$  и угла коммутации большого  $\gamma'$  контура. В составе угла  $\beta$  находится большой угол запаса  $\delta$  инвертора и угол коммутации  $\gamma$ , в который входит сумма углов коммутации большого  $\gamma'$  и малого  $\gamma''$  контуров.

Таким образом, невысокие коэффициенты мощности современных электровозов в режимах тяги и рекуперативного торможения связаны с большой величиной угла сдвига фаз  $\varphi$ , на величину которого в тяге влияют углы  $\alpha_0$  и  $\gamma'$ , а при рекуперации углы  $\delta$  и  $\gamma'$ . Следовательно, чтобы повысить коэффициенты мощности электровозов в режимах тяги и рекуперативного торможения, необходимо искать пути уменьшения величин этих углов.

Для повышения коэффициентов мощности электровозов в режимах тяги и рекуперативного торможения предлагаются следующие пути, которые разработаны в ДВГУПС на кафедре «Электротехника, электроника и электромеханика» и частично (для режима тяги) были реализованы в практике эксплуатации на электровозе ВЛ80Р № 1513 в локомотивном депо Смолениново Дальневосточной железной дороги:

1. Применение в схеме четырёхзонного ВИП двух диодных плеч VD1 и VD2, присоединённых параллельно цепи выпрямленного тока. Каждое диодное плечо работает избирательно только в одном режиме. Первое диодное плечо VD1 работает в режиме тяги и отключено в режиме рекуперативного торможения. Во время своей работы это диодное плечо присоединено катодом к катодной и анодом к анодной шинам преобразователя. Второе диодное плечо VD2 работает в режиме рекуперативного торможения и отключено в режиме тяги. Во время своей работы это диодное плечо присоединено

наоборот катодом к анодной и анодом к катодной шинам преобразователя;

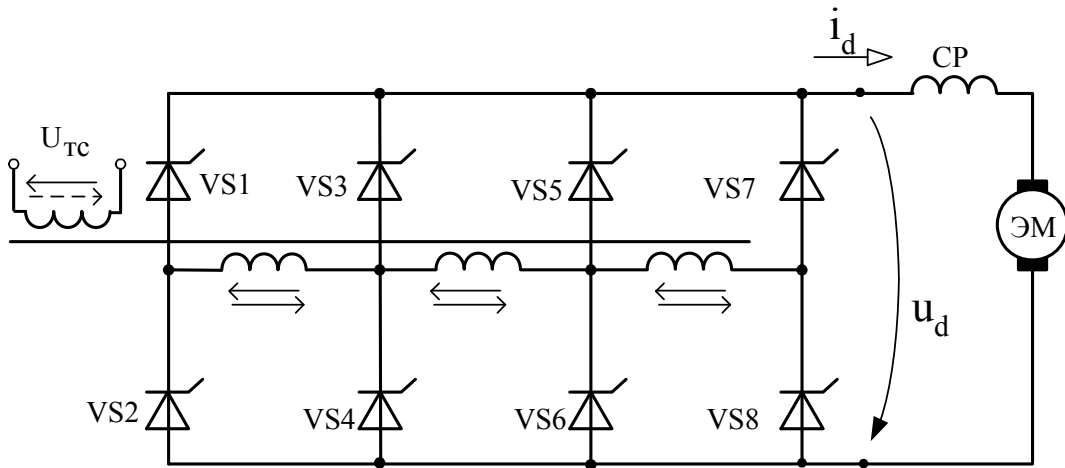


Рис. 1. Упрощенная силовая схема электровоза переменного тока с четырёхзонным ВИП на тиристорах

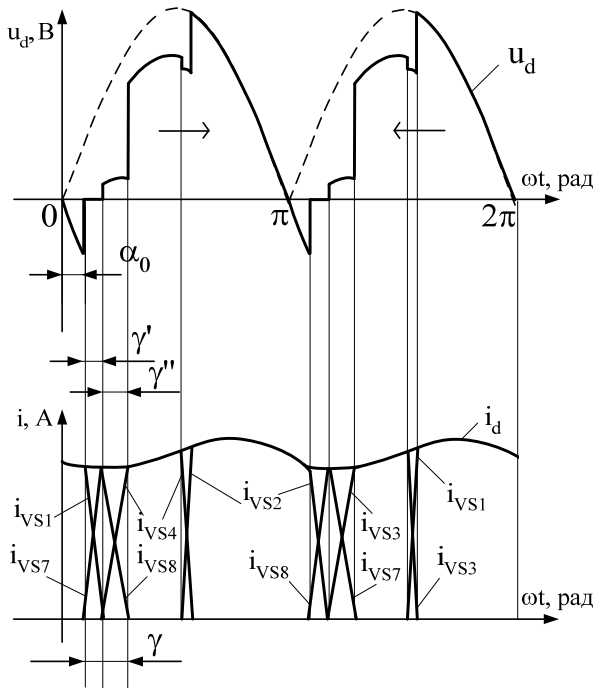


Рис. 2. Процессы работы ВИП в режиме выпрямителя на 4-ой зоне регулирования напряжения

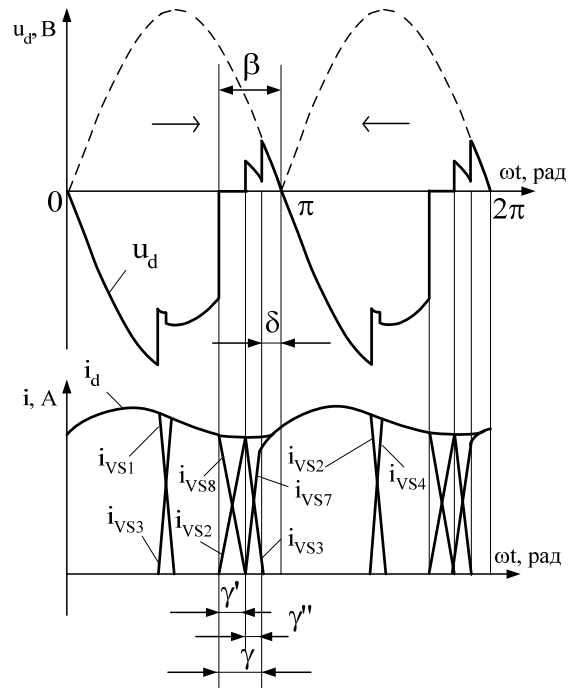


Рис. 3. Процессы работы ВИП в режиме инвертора на 4-ой зоне регулирования напряжения

2. Применение нового алгоритма управления четырёхзонным преобразователем на первой зоне как в режиме выпрямителя, так и инвертора. На рис. 4 показана упрощенная силовая схема современного электровоза с четырёхзонным ВИП на тиристорах и включением двух диодных плеч VD1, VD2 по предложению ДВГУПС, а на рис. 5 и 6 показаны процессы работы такого ВИП на 4-ой зоне регулирования в режимах выпрямителя и инвертора соответственно.

При переходе электровоза из режима тяги в режим рекуперативного торможения отключение первого VD1 и подключение второго диодного плеча VD2 происходит автоматически с помощью нормально замкнутого и разомкнутого силовых контактов тормозного переключателя QT соответственно. При переходе электровоза из режима рекуперативного торможения в режим тяги отключение второго и подключение первого диодного плеча происходит также автоматически с помощью нормально разомкнутого и замкнутого силовых контактов

тормозного переключателя соответственно. В противном случае наличие неправильного включения диодного плеча в соответствующем режиме приведет к возникновению короткоза-

мкнутого контура в силовой схеме преобразователя, который будет препятствовать нормальной работе электровоза.

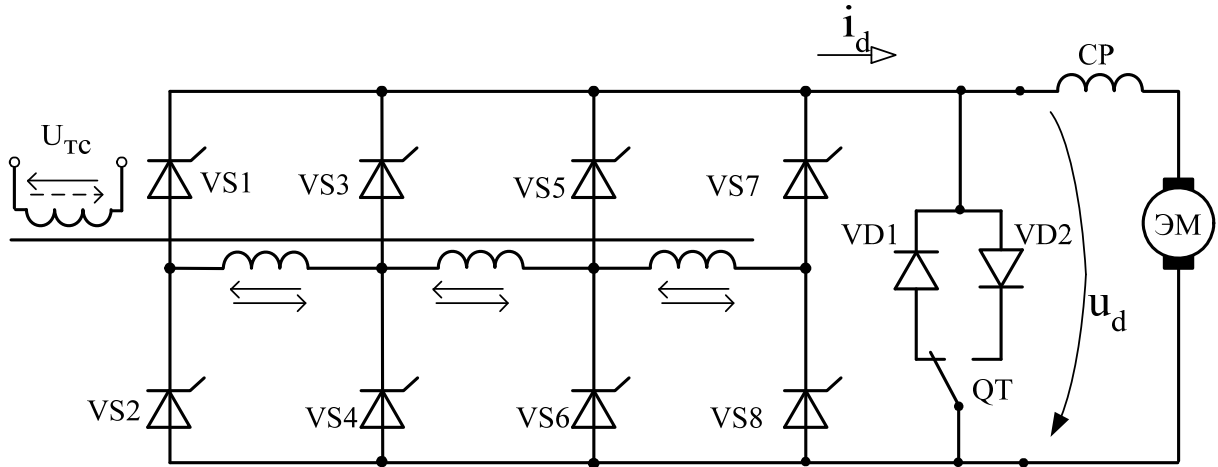


Рис. 4. Упрощенная силовая схема электровоза переменного тока с четырёхзонным ВИП на тиристорах и включением двух диодных плеч VD1 и VD2

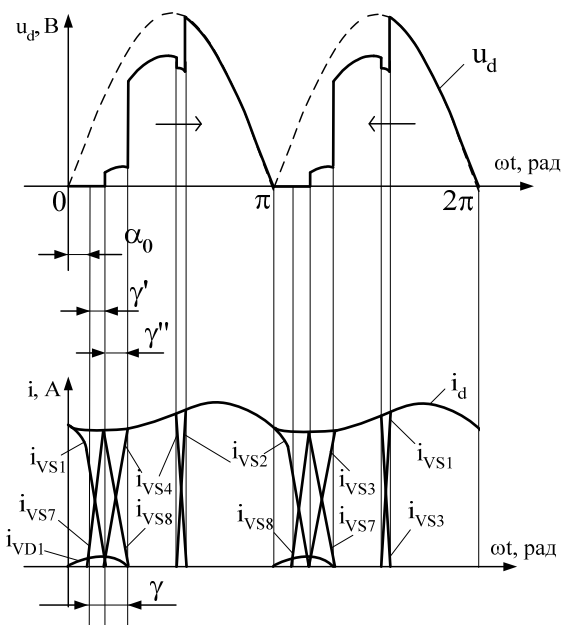


Рис. 5. Процессы работы ВИП в режиме выпрямителя на 4-ой зоне регулирования напряжения с включенным диодным плечом VD1

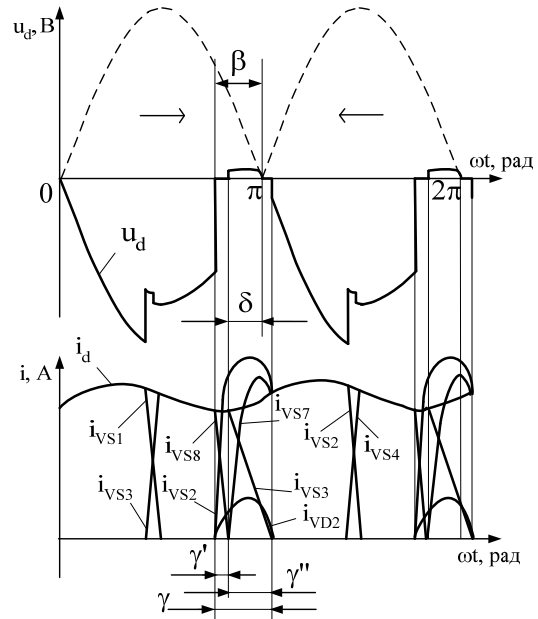


Рис. 6. Процессы работы ВИП в режиме инвертора на 4-ой зоне регулирования напряжения с включенным диодным плечом VD2

Включение первого диодного плеча в схему ВИП в режиме тяги приводит на интервалах нерегулируемого угла отпирания тиристоров  $\alpha_0$  и угла коммутации  $\gamma$  к разряду накопленной энергии в индуктивности цепи выпрямленного тока через диодное плечо в тяговый двигатель, т.е. к её полезному использованию, что вызывает уменьшение угла  $\varphi$  и увеличение выпрямленных значений напряжения и тока тяговых двигателей. При отсутствии диодного плеча эта

энергия через тиристорные плечи ВИП и трансформатор уходит в сеть и увеличивает тем самым реактивную составляющую полной энергии потребления электровозом. Таким образом, за счет снижения потребления реактивной и увеличения активной энергий коэффициент мощности повышается на 4 % и достигает в номинальном режиме работы электровоза величины 0,88, что в конечном итоге, сокращает удельный расход электроэнергии электровоза

на тягу поездов примерно на 5-6 %.

Включение второго диодного плеча в схему ВИП электровоза в режиме рекуперативного торможения позволяет в равных условиях сравнения со схемой ВИП без диодного плеча ускорить процесс коммутации большого контура в инверторе, т.е. уменьшить угол коммутации  $\gamma'$  этих тиристорных плеч. Так, в полупериоде напряжения, обозначенном на рис. 4 стрелкой  $\rightarrow$ , большой контур коммутации на 4-ой зоне регулирования образуется открытыми тиристорными плечами VS2, VS8 и тремя секциями вторичной обмотки трансформатора. Ускорение процесса коммутации большого контура происходит потому, что электрическая цепь плеча VS2, вступающего в работу очередного цикла, замыкается в цепи контура нагрузки не через цепь электрической машины (генератор), а накоротко через диодное плечо VD2. Это приводит к тому, что тиристоры плеча VS8 закрываются быстрее и фактический интервал времени для восстановления их запирающей способности (угол запаса  $\delta$ ) увеличивается, т.е. создается дополнительный запас времени по сравнению с минимально необходимым временем выключения тиристоров и таким образом не возникает угрозы возникновения аварийного режима – опрокидывания инвертора. Опрокидывание инвертора возникает тогда, когда после смены полярности напряжения сети в точке  $\pi$  неуспешные восстановить свою запирающую способность плечи VS3 и VS8 вновь отпираются, в результате чего сумма ЭДС секций вторичной обмотки трансформатора и ЭДС генератора создает большой (аварийный) ток инвертора.

Коммутация малого контура (угол  $\gamma''$ ), образованного плечами VS3, VS7 и двумя секциями вторичной обмотки трансформатора, протекает во вторую очередь сразу после окончания коммутации большого контура (закрытие плеча VS8 и полное открытие плеча VS2). Поэтому начало закрытия тиристоров плеча VS3 под действием начала открытия плеча VS7 происходит с задержкой на величину угла  $\gamma'$ . Окончание коммутации малого контура, т.е. выключение плеча VS3 может произойти значительно позднее, чем в схеме ВИП без диодного плеча VD2, вплоть до начала следующего полупериода (в точке  $\pi$ ) и даже далее. Это происходит потому, что диодное плечо VD2, находясь от момента начала открытия плеча VS2 и до момента времени  $\pi$  под прямым напряжением секций вторичной обмотки трансформатора, образует ток короткого замыкания в инверторе

и тем самым создает между катодной и анодной шиной инвертора прямое падение напряжения диодного плеча (примерно 1 В). В результате на плечи VS2 и VS7 в этом интервале времени прикладывается не сумма напряжений генератора и секций вторичной обмотки трансформатора, а только небольшое напряжение секций вторичной обмотки. Такие сильно заниженные потенциальные условия на тиристорах плеч затягивают время выхода плеча VS7 на полную нагрузку, а следовательно и время выключения VS3. Однако длительность угла  $\gamma''$  в этом случае уже не влияет на создание режима опрокидывания инвертора, так как плечо VS8 уже закрылось значительно раньше с восстановлением запирающих свойств и не может участвовать в создании контура тока для опрокидывания инвертора. Следовательно, измерять датчиком полную коммутацию инвертора (угол  $\gamma$ ) для целей автоматизации нет необходимости, а можно измерять лишь только угол  $\gamma'$ . Это обстоятельство приводит к возможности уменьшения угла запаса  $\delta$  с величины 25-30 эл. град. на современных электровозах до 10-12 эл. град. и поддержания системой управления этой величины путем автоматического регулирования угла  $\beta$  в зависимости от длительности угла  $\gamma'$ . В результате, значительно уменьшается угол  $\phi$  и повышается выпрямленное значение напряжения инвертора, что увеличивает передаваемую в сеть электроэнергию генератора примерно до 15 % и повышает коэффициент мощности инвертора на 10% с достижением его величины в номинальном режиме работы электровоза до уровня 0,84, т.е. близком к режиму тяги.

Новый алгоритм управления на 1-ой зоне в режиме тяги обеспечивает в каждом полупериоде напряжения подачу на два вентиля только импульсов управления с регулируемым углом отпираания  $\alpha$ . В результате, процесс разряда на-копленной энергии в индуктивности цепи выпрямленного тока происходит не в сеть, а через диодное плечо в нагрузку с полезным её использованием.

Новый алгоритм управления на 1-ой зоне в режиме рекуперативного торможения обеспечивает в каждом полупериоде напряжения подачу на один вентиль импульсов управления с регулируемым углом отпираания  $\alpha$ , а на другой – импульсов управления с углом опережения  $\beta$ . В этом случае вместо режима противовключения, когда инвертор переходит в режим выпрямителя для обеспечения более значительных токов генератора за счет увеличения выпрямленного напряжения, будет сохраняться режим

рекуперации электрической энергии до самых малых уровней скорости движения и тем самым увеличится энергетическая, а следовательно, и экономическая эффективность рекуперации.

### **Выводы**

Применение диодных плеч VD1, VD2 и нового алгоритма управления ВИП на 1-ой зоне в режимах тяги и рекуперативного торможения позволяет значительно повысить коэффициент мощности электровоза в тяге на 4%, а при рекуперативном торможении на 10 %. Такое повышение коэффициентов мощности электровоза сокращает удельный расход электроэнергии электровоза в режиме тяги поездов примерно на 5-6 % и увеличивает возврат электроэнергии в контактную сеть при рекуперативном торможении до 15% по сравнению с существующими электровозами. С учетом возврата электроэнергии электровоза при рекуперации его удельный расход электроэнергии будет еще больше сокращаться.

Если внедрить представленные в статье технические решения на такие современные элек-

трово́зы, как ВЛ80Р, ВЛ85, 2ЭС5К и 3ЭС5К, которые участвуют в перевозках грузовых поездов весом до 6000 т на перевалистых и горных профилях пути участков железных дорог в Сибири и на Дальнем Востоке, то их технико-экономическая эффективность значительно повысится. Это будет реальным вкладом в реализацию программы ОАО «РЖД» по снижению эксплуатационных расходов и экономии топливно-энергетических ресурсов путем разработки новых и совершенствования существующих конструкций и технологий, а также роста надежности их работы.

**Ключевые слова:** переменный ток, электровоз, тяга, рекуперация, эффективность, регулирование напряжения.

**Ключові слова:** змінний струм, електровоз, тяга, рекуперация, ефективність, регулювання напруги.

**Keywords:** AC, electric locomotive, traction, recuperation, voltage regulating.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ, ЩО ПІДВИЩУЮТЬ НАДІЙНІСТЬ ТЯГОВИХ АГРЕГАТІВ

*Представив д.т.н., професор Андрієнко П.Д.*

### Вступ

До схем і конструкцій тягових підстанцій пред'являють певні технічні вимоги. Так, силове обладнання повинно забезпечувати безперебійне живлення споживачів електроенергії на рівні надійності, що вимагається. Дуже важливо також, щоб якість електричної енергії відповідала встановленим нормам, для чого проводять випробування і діагностику тягового обладнання, куди входить як виявлення прямих дефектів, так і ретельна перевірка відповідності основних характеристик вимогам ГОСТ, технічним умовам і розрахунку, а також завчасне прогнозування виходу з ладу обладнання або окремих вузлів і деталей.

Підвищення надійності устаткування, продовження його технічного ресурсу є одним з важливих завдань в досягненні економічної ефективності будь-якої галузі. Економічні перетворення, що проводяться нині на залізницях України, вимагають постановки і рішення аналогічних завдань для устаткування, що забезпечує безперебійне і високоефективне функціонування залізничного транспорту. Враховуючи, що силові трансформатори тягових підстанцій відносяться до розряду дорогого устаткування, підвищення їх надійності і довговічності є однією з найважливіших науково-технічних проблем, рішення якої приведе до економії матеріальних ресурсів у сфері електропостачання залізниць і, отже, до підвищення економічної ефективності залізничного транспорту в цілому.

Заходи по підвищенню надійності силових трансформаторів можна розділити на декілька напрямів: організаційні, до яких відносяться заходи по вдосконаленню технічного обслуговування трансформаторів, обмеженню числа коротких замикань; технічні - по вдосконаленню конструкції трансформаторів; заходи по вдосконаленню методів технічного обслуговування і діагностики стану силових трансформаторів.

Також, надійність і економічність роботи тягових підстанцій багато в чому визначаються

типом прийнятого випрямляча. Історично склалися так, що до останнього часу застосовувалися випрямлячі, включені за так званими 6-пульсним схемами. Такі схеми мають істотні недоліки: відносно низький коефіцієнт потужності, спотворену форму кривої споживаного струму і, як наслідок, низьку якість електричної енергії, значний вплив тягових струмів на повітряні лінії зв'язку. Техніко-економічну ефективність тягових підстанцій можна підвищити за допомогою 12-пульсних (трифазних двомостових) випрямлячів.

Тому при виборі випрямлячів приділяється велика увага поліпшенню якісних показників випрямленої напруги.

Відомо, що при переході до многопульсних схем випрямлення покращуються енергетичні показники випрямних агрегатів. Дванадцятипульсні випрямлячі дозволяють: підвищити коефіцієнт потужності тягової підстанції до 0,97-0,98; поліпшити форму кривої споживаного струму і тим самим підвищити якість електричної енергії; поліпшити форму кривої випрямленої напруги і понизити вплив тягової мережі на лінії зв'язку; понизити витрату електротехнічних матеріалів, що витрачаються на виготовлення випрямляча.

### Основна частина

Одним з напрямків підвищення надійності тягових агрегатів є модернізація застарілого силового устаткування. При модернізації підвищується надійність роботи технічних засобів, знижуються експлуатаційні витрати на утримання і ремонт, а також технологічні втрати в системі електропостачання і підвищується ресурс основних елементів пристроїв електропостачання.

Пропонується модернізувати тягові агрегати, встановлені на тяговій підстанції ЕЧЕ-43. Ця підстанція була побудована в 1968 році. Устаткування підстанції давно перевищує гарантійний термін експлуатації і потребує модернізації. На сьогоднішній день існує безліч рішень поліпшення роботи тягових агрегатів і

підвищення надійності їх роботи. На даній підстанції встановлені тягові трансформатори УТМРУ 6300/35, вимикачі ВАБ-28, випрямні агрегати УВКЭ-1, схема з'єднання агрегатів: 6-пульсова.

Структурна схема підстанції постійного струму ЕЧЕ-43 представлена на рис. 1.

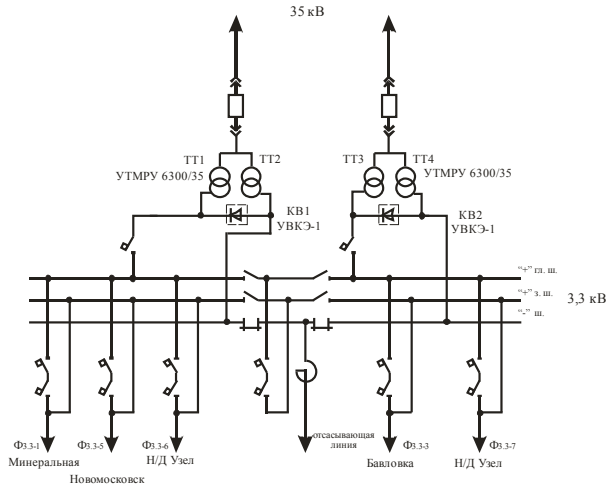


Рис. 1. Структурна схема тягової підстанції постійного струму ЕЧЕ-43

Для збільшення надійності тягових агрегатів необхідно демонтувати існуючі тягові трансформатори УТМРУ 6300/35. На їх місце встановити новий тяговий трансформатор ТРДП-12500/10 ЖУ1, вентильні обмотки якого служать для живлення випрямляча по 12-и пульсовій схемі випрямлення. Це дозволить отримати менші пульсації випрямленої напруги, понизити вищі гармонійні складові в кривій мережевого струму, підвищити якість випрямленої напруги.

Замість встановлених КВ1 і КВ2 необхідно встановити В-ТПКД-3,15к-3, Зк-М-12П-У2, НПО ТОВ «Перетворювач» м. Запоріжжя.

Заміна старих випрямних агрегатів на нові, наприклад В-ТПКД-3,15к-3,Зк-М-12П-У2 вітчизняного виробництва, суттєво підвищить надійність тягової підстанції. В даних випрямлячах використовуються діоди високого класу, що дозволяє зменшити їх кількість до 24, коли в старих випрямлячах їх кількість досягала 720.

Для обґрунтування логічності заміни старого устаткування розрахуємо показники надійності тягових агрегатів до і після модернізації. Для цього необхідно підстанцію представити у вигляді структурно-логічної схеми, яка складається з  $m$  послідовно включених блоків, кожен з яких може містити  $k$  паралельних ланцюгів. А ланцюг, в свою чергу, складається з  $n$  послідовно з'єднаних пристроїв.

Кінцевою метою розрахунку надійності технічних пристроїв є оптимізація конструктивних рішень і параметрів, режимів експлуатації, організація технічного обслуговування і ремонтів.

### Розрахунок показників надійності

1. Параметр потоку відмови і наробітка на відмову визначається за формулами:

$$\omega_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n \omega_i,$$

$$T_{\text{оц}} = \frac{1}{\omega_{\text{ц}}},$$

де параметр потоку відмов представляє собою щільність вірогідності виникнення відмови відновлюваного об'єкту.

Наробітком на відмову називається математичне очікування напрацювання об'єкту до першої відмови.

2. Сумарний час відновлення за рік:

$$\tau_{\text{вц}} = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot t_{\text{оі}}$$

3. Середній час на відновлення:

$$T_{\text{вц}} = \frac{\tau_{\text{вц}}}{\omega_{\text{ц}}} = \tau_{\text{вц}} \cdot T_{\text{оц}},$$

Де: Середній час відновлення - це математичне очікування часу відновлення працездатного стану об'єкту після відмови.

4. Сумарний час на ТО і Р за рік:

$$\tau_{\text{обц}} = \sum_{i=1}^n a_{\text{обі}} \cdot t_{\text{обі}}$$

5. Коефіцієнт готовності

$$K_{\text{гц}} = \frac{1}{1 + \rho_{\text{ц}}},$$

$$\text{де } \rho_{\text{ц}} = \frac{T_{\text{вц}}}{8760 \cdot T_{\text{оц}}}.$$

Коефіцієнт готовності - це вірогідність того, що об'єкт опиниться в працездатному стані в довільний момент часу, окрім планованих періодів, впродовж яких застосування об'єкту за призначенням не передбачається.

6. Коефіцієнт технічного використання

$$K_{\text{тц}} = \frac{K_{\text{гц}}}{1 + \gamma_{\text{ц}}},$$

$$\text{де } \gamma_{\text{ц}} = \frac{\tau_{\text{обц}} \cdot T_{\text{оц}}}{8760 \cdot T_{\text{оц}} + T_{\text{вц}}}$$

Коефіцієнт технічного використання характеризує долю часу знаходження об'єкту в працездатному стані відносно загальної тривалості експлуатації. Отже,  $K_T$  відрізняється від  $K_G$  тим, що при його визначенні враховується увесь час вимушених простоїв, тоді як при визначенні  $K_G$  час простою, пов'язаний з проведенням профілактичних робіт, не враховується.

7. Вірогідність безвідмовної роботи на протязі року

$$P(t) = e^{-\omega_n}$$

В нашому випадку до модернізації:

$$P(t) = e^{-0.55} = 0.577$$

Вірогідність безвідмовної роботи - це вірогідність того, що в межах завдань напрацювання відмова об'єкту не виникає.

При розрахунках параметра безвідмовної роботи після модернізації ми отримали наступне значення:

$$P(t) = 0,829$$

Порівняння показників надійності графічно зображені на рис. 2

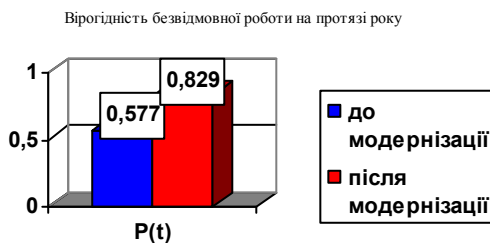


Рис. 2 Порівняння показників надійності

Аналізуючи отриманий результат бачимо, що при модернізації тягових агрегатів, надійність всієї підстанції зростає майже вдвічі. Отже, підвищуючи надійність тягових агрегатів, ми підвищуємо надійність електропостачання в цілому, а на сьогоднішній день це є дуже актуальним питанням.

### Діагностування устаткування

Також до технічних заходів, що підвищують надійність тягових агрегатів можна віднести діагностику обладнання.

За допомогою діагностики визначається коли вийде з ладу те або інше обладнання і вжити

заходи, перешкоджаючи розвитку дефекту і виходу з ладу устаткування. Маємо змогу завчасно прогнозувати і коректувати ремонтні роботи. Провівши діагностику, можна зробити висновки коли і який знадобиться ремонт даному устаткуванню, або він вже взагалі не знадобиться і найближчим часом краще замінити дане обладнання на нове.

Розглянемо деякі методики діагностування силового устаткування тягової підстанції.

Вихід з ладу і відмови статичних перетворювачів (СП) в умовах експлуатації впливають на надійність і режими роботи, як окремих пристроїв, так і залізничного транспорту в цілому. Проблему підвищення рівня безвідмовної роботи СП можна значною мірою розв'язати за допомогою технічної діагностики як функціональною так і тестовою.

При сучасному рівні розвитку вимірювальної і обчислювальної техніки тестова діагностика дозволяє виявляти не лише пошкоджені, але і потенційно-ненадійні СПП в перетворювачі. Отже, з'являється можливість прогнозувати подальший стан напівпровідникових приладів і перетворювачів в цілому.

На сьогоднішній день розроблено ряд пристроїв експрес-діагностики СП різного типу, вживаних як на рухомому складі, так і на тягових підстанціях залізниць, метрополітену. Розроблені пристрої дозволяють виявляти пошкоджені і потенційно-ненадійні СПП таблеточної і штирьової конструкції по зворотному струму і струму витоку приладів в закритому стані. Ці пристрої дозволяють запобігти можливим відмовам при подальшій експлуатації СП.

Структурна схема одного з таких пристроїв приведена на рис. 3.

Принцип роботи цього пристрою полягає в розрахунку по заданому алгоритму зворотних струмів і струмів витоку СПП по вимірних значеннях резисторів зв'язку і потенціалів в точках з'єднання цих резисторів з гілками силової схеми. Застосування мікропроцесорної техніки дозволяє обробити великий об'єм інформації і визначити потенційно-ненадійні СПП в плечі перетворювача, а також підвищити точність виміру за рахунок застосування метрологічних способів зменшення погрешності.

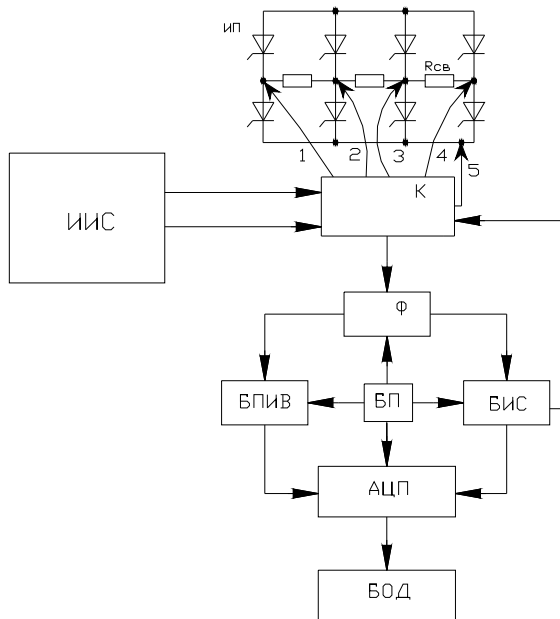


Рис. 3 Універсальний пристрій діагностики перетворювачів:

ИИС - джерело випробувальних сигналів; К - блок комутації; Ф - фільтр; БП - блок живлення; БПІВ - блок виміру напруги; БІС - блок виміру опору; АЦП - аналого-цифровий перетворювач; БОД - блок обробки даних.; 1, 2, 3, 4, 5 - виводи пристрою; Rс - резистори зв'язку, ИП- випробувальний прилад.

### Висновок

Провівши модернізацію тягових агрегатів, отримаємо ряд переваг: високий рівень безпеки експлуатації залізниць; оперативність управління і якісний контроль в роботі системи електропостачання; мінімізація втрат від вимушених простоїв, пов'язаних з перервами в електропостачанні; зниження експлуатаційних витрат; зменшення кількості помилкових спрацьовувань і аварійних режимів; зменшення рівня шуму; зниження витрат електроенергії, а також підвищення надійності.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Прохорский, А.А. Тяговые и трансформаторные подстанции [Текст] / А.А. Прохорский. – М.: Транспорт, 1983. – 496 с.
2. Давыдова, И.К. Справочник по эксплуатации тяговых подстанций и постов секционирования [Текст] / И.К. Давыдова, Е.И. Попов, В.М. Эрлих. – М.: Транспорт, 1978. – 416 с.
3. Фигурнов, Е.П. Релейная защита. Учебник для студентов электротехнических и электромеханических специальностей транспортных и других вузов [Текст] / Е.П. Фигурнов. – К.:Транспорт Украины, 2004.
4. Сердинов, С.М. Повышение надёжности устройств электроснабжения электрифицированных железных дорог [Текст] / С.М. Сердинов. – М.: Транспорт, 1985.
5. Шабалин, Н.Г. Новые возможности диагностики полупроводниковых преобразователей [Текст] / Н.Г. Шабалин, С.М. Курмашев, Е.Б. Зазыбина // Локомотив, 2002. – №7.
6. Проектирование электрической части станций и подстанций [Текст] / Ю.Б. Гук, В.В. Кантан, С.С. Петрова. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985.

**Ключові слова:** тягові агрегати, надійність, технічні заходи.

**Ключевые слова:** тяговые агрегаты, надежность, технические мероприятия.

**Keywords:** traction units, reliability, technical arrangements.

## МОДЕРНІЗАЦІЯ ФІДЕРНОЇ АВТОМАТИКИ НА ТЯГОВІЙ ПІДСТАНЦІ ПІСТІЙНОГО СТРУМУ

*Представив д.т.н., професор Панасенко М.В.*

### Вступ

У системах електропостачання нерідко раптово виникають короткі замикання (к.з.) і інші аварійні режими роботи. Розрізняють короткі замикання між фазами електричної установки (міжфазне коротке замикання), а також між фазою і землею (замикання на землю). У трансформаторах і електричних машинах, крім того, можливі міжвіткові замикання в обмотці однієї фази. Короткі замикання виникають унаслідок дефектів, старіння і забруднення ізоляції струмоведучих частин, обриву і схлестнення проводів при сильному вітрі або ожеледі, несправності в ланцюгах електрорухомого складу, помилкових переключень. Електрична дуга в місці замикання здатна викликати пережоги, оплавлення і руйнування електричного устаткування і розподільних пристроїв, отжиг і обриви контактних проводів. Руйнування виявляються тим значніше, чим більше струм у дузі і час її існування. Щоб коротке замикання не викликало великого збитку, ушкоджене електроустаткування необхідно якнайшвидше відключити.

Останнім часом однією з важливих проблем у вітчизняній енергетиці є заміна застарілого парку устаткування на тягових підстанціях залізниць. Так, експлуатація морально застарілих комплексів захистів фідерів контактної мережі може привести до помилкових спрацьовувань захистів або навіть їх відмовленню, що у свою чергу приведе до розвитку небезпечних аварійних ситуацій і зниженню надійності функціонування в цілому. Усе це визначає актуальність теми на сьогоднішній день по заміні, реконструкції і модернізації комплексів захистів з метою підвищення надійності функціонування і можливості передачі інформації з низького на більш високий рівень ієрархії автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСУ ТП), а також можливість автоматичного і дистанційного керування окремими підстанціями.

### Основна частина

Пропонується провести модернізацію фідерної автоматики тягової підстанції Новомосковськ (ЕЧЕ-43), на якій встановлене устаткування

60-70 рр. На даній підстанції використовуються ШВ: ВАБ-49 і АБ 2/4. Дане устаткування зносилось як фізично, так і морально, і має ряд істотних недоліків, це і швидкість відключень, і труднощі технічного обслуговування (усе налагодження відбувається механічно), і грамоустійкість самого устаткування. Наведені фактори негативно впливають на надійність системи автоматики в цілому.

Розглянемо можливість заміни даного устаткування. Донедавна релейний захист, і інші пристрої автоматики виконувалися тільки на релейно-контактних елементах. В останні десятиліття широко почали застосовувати електронні пристрої. Це підвищує надійність захистів, зменшує їхні розміри, власне споживання й експлуатаційні витрати, а також дозволяє реалізувати зовсім нові функціональні залежності. Застосування напівпровідникової електроніки дає можливість виконати релейний захист разом з іншими пристроями автоматики і телемеханіки у виді єдиної системи, комплексу. Застосування мікроелектроніки і мікропроцесорних систем ще більше підвищує ефективність релейного захисту й автоматики, відкриває перспективи для передачі функцій релейного захисту й автоматики спеціальним керуючим обчислювальним машинам, що будуть керувати пристроями електропостачання в нормальних і аварійних режимах. Терміни "цифровий термінал", "інтелектуальний термінал" або просто "термінал" уже міцно укоренилися в загальнопромисловій енергетиці.

Питання про те, для чого і які саме потрібні термінали в системі тягового електропостачання залізниць, є цілком правомірним хоча б тому, що воно зрозуміло далеко не всім потенційним споживачам. Основна причина недорозуміння мети використання терміналів полягає в тому, що існуючий підхід до релейного захисту й автоматики (РЗА) електротягових мереж (ЕТМ) склався поступово, у міру розвитку відповідних технічних засобів і технологій. У зв'язку з цим і дотепер цей підхід залишається багато в чому стихійним і характеризується напрямком розробок "від часткового до загального і знизу нагору". Такий принцип не є ефективним через кардинальну змі-

ну технічних засобів, використовуваних для тягового електропостачання, і технології їхнього технічного обслуговування.

Термінали виконують функції захисту, управління, автоматики, діагностики, сигналізації та реєстрації як на рівні приєднання, так і на більш високих рівнях: розподільчих пристроїв, тягових підстанцій, міжпідстанційних зон. Саме термінали, на відміну від інших комплексів захисту фідерів об'єднують всі функції в одному пристрої, що в свою чергу надає багато переваг. Це і розміри, і зручність експлуатації, і набагато збільшена надійність. Основні функціональні вимоги до таких терміналів регламентовані в діючих нормативних документах і виявлені в процесі досвідної експлуатації перших вітчизняних терміналів. Досить великий набір функцій для приєднань кожного типу обумовлений, перш за все, необхідністю забезпечення їх універсальності. Кожен з терміналів повинен реалізувати всі необхідні типи захистів (основні, резервні та додаткові) для всіх можливих режимів роботи приєднання.

Термінал ЦЗАФ-3,3 кВ здійснює місцеву, загальнопідстанційну і телемеханічну сигналізацію з допомогою таких засобів:

- світлодіодів на лицьовій панелі;
- цифрового дисплея;
- релейних виходів;
- послідовних інтерфейсів для підключення каналів зв'язку з АСУ та ПЕОМ.

Також перевагою даного терміналу є реєстрація та зберігання параметрів. До складу накопичуваної терміналом інформації входять наступні параметри:

- загальна кількість відключень вимикача;
- кількість аварійних відключень;
- струм фідера при останньому відключенні;
- напруга на фідері при останньому відключенні;
- вироблений ресурс вимикача.

Тобто, маючи доступ до цієї інформації можна вчасно виявити несправності будь-якого роду, а відповідно і запобігти можливим аварійним ситуаціям.

Окремою дуже важливою перевагою терміналів є захист, що враховує форму струму при перевантаженнях. Принцип дії цього захисту зображено на рис. 1, 2.

Метою проведених у даний час заходів щодо модернізації і реконструкції пристроїв тягового електропостачання є сполучення якісного підвищення техніко-експлуатаційних, енергетичних і економічних показників роботи системи тягового електропостачання з мінімізацією витрат на проведення модернізації і наступну експлуата-

цію з урахуванням реальних рівнів завантаження залізничних ліній. Досягнення цих загальних цілей можливе тільки на основі системного підходу до побудови ЕТМ. Таким чином, ціль використання терміналів полягає в реалізації "малолюдної технології експлуатації".

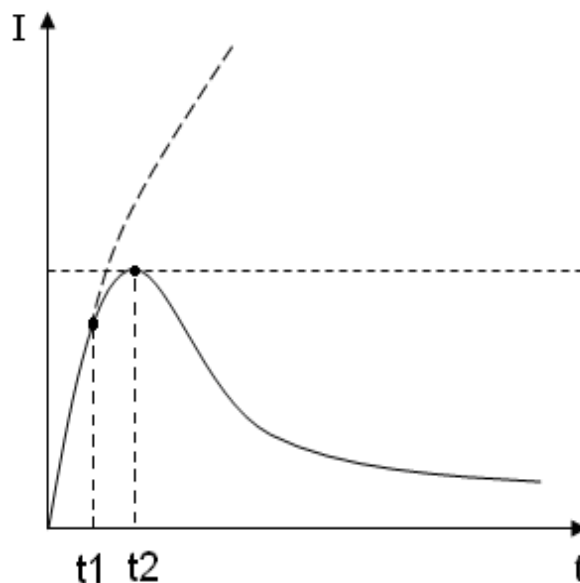


Рис. 1. Форма струму при к.з.

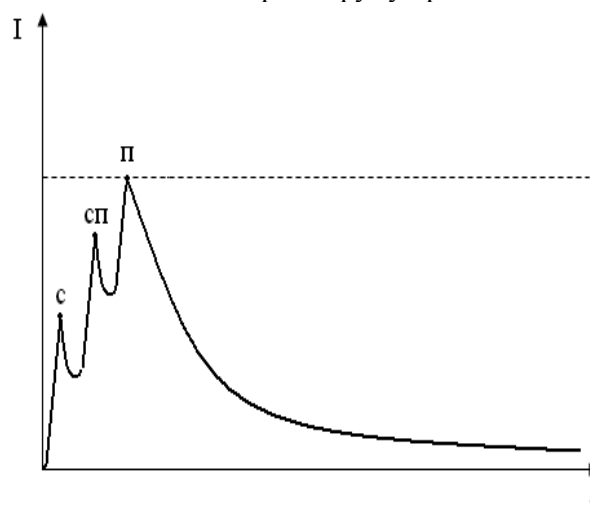


Рис.2. Форма струму при перевантаженні

Оскільки ряд провідних закордонних компаній уже робить термінали для залізничних приєднань, виникає природне запитання про можливість і доцільність їхнього використання в Україні. Наприклад, концерн АВВ робить багатофункціональні термінали REO 517 для залізничних приєднань з частотою мережі 50 і 60 Гц. Міжнародний концерн Alstom випускає пристрій MiCOM P438, що також призначений для захисту залізничних контактних мереж. Концерн Siemens випускає пристрої захисту 7SA518, 7SA519. Усі згадані термінали досить досконалі

і добре себе зарекомендували на закордонних залізницях. Однак необхідно враховувати, що всі ці пристрої призначені для залізниць, що істотно відрізняються від українських:

- по схемах зовнішнього і внутрішнього електропостачання;
- по довжині міжпідстанційних зон;
- по схемах живлення і секціонування контактної мережі і т.д..

Цим обумовлене розходження вимог, пропонує до вітчизняних і закордонних терміналів. Вимоги, розроблені для закордонних пристроїв, засновані на закордонних стандартах, відмінних від українських, і обумовлені специфікою тих залізниць, для яких вони розроблялися. Як доводи, що вимагають критичного відношення до можливості застосування закордонних терміналів, варто також згадати:

- необхідність русифікації повідомлень, виведених на дисплей терміналу, і всієї експлуатаційної документації;
- труднощі з гарантійним і постгарантійним обслуговуванням (зміна поколінь терміналів відбувається приблизно один раз у 5 років, після чого застарілі типи знімають з виробництва, і ціна на комплектуючі до них різко збільшується).

Через неможливість застосування закордонних терміналів, для модернізації фідерної автоматики ЕЧЕ-43 пропонується використовувати ЦЗАФ 3,3 кВ (ТОВ "НИИЭФА-ЭНЕРГО"). Цифровий термінал ЦЗАФ 3,3 кВ - це не простий пристрій РЗА на новій елементній базі, це якісно новий клас виробів, що, по-перше, замінює собою цілий ряд існуючих пристроїв, по-друге, виконує функції пристроїв, яких раніше не було на переважній більшості підстанцій, але які зовсім необхідні для переходу на малолюдну технологію обслуговування. Термінал замінює собою практично всі інтелектуальні пристрої вторинних ланцюгів підстанцій. При цьому кожна з функцій виконується з кращими характеристиками і, крім того, надаються нові можливості для обслуговуючого персоналу. У загальному виді, пристрій ЦЗАФ-3,3 призначено для виконання функцій релейного захисту фідерів контактної мережі постійного струму напруги 3,3 кВ у комплектних розподільних пристроях (КРП) тягових підстанцій (ТП), постів секціонування (ПС) і пунктів паралельного з'єднання (ППЗ), а так само для виконання функцій протиаварійної автоматики, виміру, контролю і сигналізації, місцевого і дистанційного керування комутаційними апаратами. Воно може включатися в автоматизовану систему керування підстанції як підсистему нижнього рівня.

## Висновок

У підсумку, після установки запропонованого пристрою, захист фідерів контактної мережі ЕЧЕ-43 вийде на новий якісний рівень, що підвищить надійність і зручність експлуатації. Взагалі, мета проведеної в даний час модернізації і реконструкції пристроїв тягового електропостачання полягає у значному поліпшенні техніко-експлуатаційних, енергетичних і економічних показників роботи системи електропостачання при мінімальних витратах на модернізацію і наступну експлуатацію. Для реалізації цих цілей необхідне впровадження технології, що буде заощадити мінімальні людські ресурси і перехід від планово-попереджувальної системи ремонту до технічного обслуговування по фактичному стану устаткування. Світовий досвід показує, що впровадження такої технології можливо тільки на основі реалізації трьох складових:

- використання високонадійного устаткування, не потребує планово-попереджувального ремонту протягом установленого терміну служби або постійної присутності обслуговуючого персоналу (термінал ЦЗАФ 3,3 кВ відноситься до цієї категорії устаткування);
- максимальна автоматизація процедур обслуговування (включаючи діагностику устаткування), для чого необхідне створення автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСУ ТП) енергооб'єктів, енергоділянок і т.д. ;
- високоефективна інфраструктура експлуатації і технічного обслуговування.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Почаевец В.С. Электрические подстанции: Учеб. для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. – М.:Желдориздат, 2001. – 512 с.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М.: Атомиздат, 1973. 352 с.
3. Фигурнов Е.П. Релейная защита. Учебник для студентов электротехнических и электромеханических специальностей транспортных и других вузов – К.:Транспорт Украины, 2004.
4. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. М.: Высшая школа, 1991г.
5. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Под ред. А.А.Федорова и Г.В.Сербиновского. М., "Энергия", 1973.
6. Марквардт К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог, Учебник для вузов ж.д. транспорта, – М.: Транспорт, 1982.

## АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ЗМІНИ «УМОВНИХ» ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ

Представив д.т.н., професор Панасенко М.В.

З огляду на те, що електрична тяга – один із найбільших споживачів електроенергії, раціональне її використання набуває особливого значення. Один із шляхів скорочення витрати електроенергії на тягу потягів – зменшення втрат енергії в пристроях тягового електропостачання.

Визначення втрат енергії в тяговій мережі – найслабша ланка при складанні загального енергетичного балансу. Всі недоліки у використанні енергетичних ресурсів різними службами та підрозділами залізниць не рідко списують на «умовні» втрати [2]. «Умовні» втрати в тяговій мережі визначаються порівнянням витрати електроенергії за показниками лічильників електровозів і витратою електроенергії по лічильниках тягових підстанцій. Для визначення планового значення витрат електроенергії локомотивного депо проводять відповідні розрахунки згідно методики ЦТ – 0099 [1]. Норматив «умовних» втрат розраховує Главк локомотивного господарства і доводить його службі локомотивного господарства. Дослідженню «умовних» втрат присвячено чимало праць [3,4,2]. В даній статті проведено аналіз динаміки зміни «умовних» втрат електричної енергії в тяговій мережі за даними Одеської залізниці. На рис.1 представлено динаміку фак-

тичних та планових «умовних» втрат за вісім років.

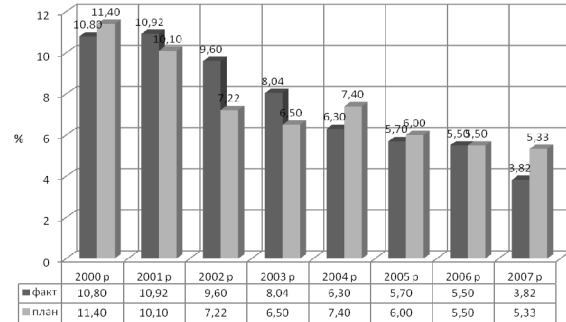


Рис. 1. «Умовні» втрати електроенергії в тяговій мережі за 2000 – 2007 р.р.

Як бачимо з 2001 по 2003р. фактичні «умовні» втрати перевищували заплановані. «Умовні» втрати мають сезонний характер зміни. Знання їх закономірностей дозволяє їх нормувати, прогнозувати об'єм споживання енергії. Проте точність прогнозування низька. Однією з причин є непостійність сезонного споживання. Проаналізуємо динаміку зміни «умовних» втрат по місяцям за 9 років (табл.1)

«Умовні» втрати в холодну пору року в порівнянні з теплим періодом істотно підвищуються (табл. 1, рис. 2 – 9).

Таблиця 1

"Умовні" втрати електроенергії в тяговій мережі за 2002 - 2008 роки в порівнянні з планом

місяць	%	місяць												рік, факт/план
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2002 р	факт	14,18	8,74	8,62	4,57	7,46	4,56	8,25	5,83	5,80	2,10	8,30	7,91	9,60
	план	12,5	11,5	10,5	9,40	9,30	9,36	8,50	8,00	10,50	8,30	8,40	8,80	7,22
2003 р	факт	9,12	11,5	5,76	9,28	6,79	5,59	7,30	5,13	9,10	7,69	10,29	8,96	8,04
	план	7,80	7,50	7,20	6,00	5,80	5,00	6,40	6,40	7,00	5,90	5,90	6,20	6,43
2004 р	факт	13,3	9,81	3,98	3,40	4,00	4,43	5,70	3,40	5,40	6,20	8,80	7,47	6,32
	план	8,50	8,00	7,50	7,50	7,00	6,50	6,60	6,60	6,50	7,80	8,00	8,20	7,39
2005 р	факт	6,89	8,83	6,91	5,27	4,01	5,66	2,50	3,27	6,30	4,30	8,50	6,35	5,73
	план	9,00	8,50	8,00	4,00	4,00	3,90	4,20	4,20	5,40	6,80	7,00	7,20	6,02
2006 р	факт	10,4	5,80	5,60	3,70	4,20	5,20	3,98	3,98	6,20	6,10	5,90	5,80	5,50
	план	8,00	7,30	6,60	5,00	4,50	4,00	4,00	4,00	4,00	6,00	6,00	6,30	5,50
2007 р	факт	6,90	5,76	3,26	1,80	2,50	1,70	1,93	4,60	4,20	4,30	4,95	3,67	3,82
	план	8,00	7,30	5,70	4,30	4,30	4,30	4,40	4,40	4,70	5,00	5,00	6,40	5,33

місяць	%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	рік, факт/план
2008 р	факт	6,60	4,10	2,70	2,90	3,49	2,00	2,72	3,99	4,97	3,13	6,30	4,86	3,96
	план	5,00	5,00	5,00	4,40	4,40	4,10	3,50	3,50	3,70	4,10	4,10	4,40	4,26
2009 р	факт	5,06	6,00	4,13	5,60	1,87	2,34	1,56						
	план	4,80	4,40	4,00	2,80	2,80	6,30	2,72						

Проаналізуємо помісячні «умовні» втрати за вісім років (рис. 2).

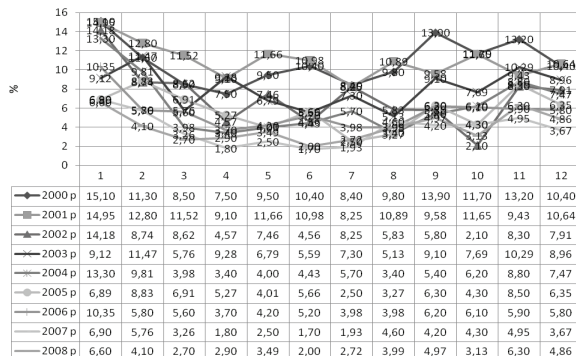


Рис. 2. «Умовні» втрати електроенергії в тяговій мережі за 2000 – 2008 р.р.

Для наглядності виділимо помісячні «умовні» втрати за два роки (рис. 3)

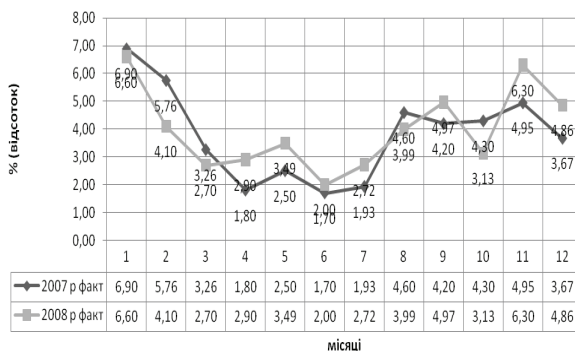


Рис. 3. «Умовні» втрати електроенергії в тяговій мережі за 2007 – 2008 р.р.

Єдиною причиною виникнення сезонної зміни питомих втрат називають підвищення опору руху в холодну пору року. Проте динаміка реальних показників споживання енергії потоком поїздів, в першу чергу, невідповідність сезонного ходу змінам температури, це твердження спростовує.

Дослідження підтвердили припущення, що причинами посиленої сезонної зміни служать особливості формування об'ємів споживання енергії, властиві залізничній магістралі, а саме:

- від контактної мережі живиться не тільки електрорухомий склад на лінії, але і електровози, які знаходяться у відстої. Крім того, частина енергії йде на технологічні потреби депо і інших підрозділів.

- зміна характеру потоку поїздів. У окремі періоди співвідношення роботи, що виконується локомотивами з навантаженими і порожніми поїздами, збільшується на користь навантажених. Різниця в їх питомих витратах досягає 2 – 2,5 рази. Якщо підвищення відносної частки роботи навантажених відбувається в літній час, то це викликає зниження питомої витрати по потоку поїздів в цілому і, отже, збільшення сезонної зміни.

Аналіз споживання електроенергії по тяговим підстанціям Одеської залізниці показав, що споживання на тягових підстанціях в перехідний період від літа до зими збільшується на 10 – 12 %. Близько 2 % з них викликані об'ємами енергії, які йдуть на обігрів пасажирських поїздів на шляху слідування. Сезонне збільшення втрат, зафіксоване лічильниками ЕРС, не перевищило 6 – 7 %. Отже, сезонна зміна споживання на тягових підстанціях на 2 – 4 % перевищує аналогічну величину, визначену по лічильниках локомотивів.

Як з'ясували, сезонна зміна споживання електроенергії на тягу навантажених поїздів складає 5 – 6 %, порожніх 12 – 17 %. Вплив температури на втрату порожніми поїздами відомий. Відносна зміна опору руху при впливі одного і того ж чинника більше для вагонів, які характеризуються малим навантаженням на вісь.

Порівнюємо фактичні «умовні» втрати електроенергії в тяговій мережі з плановими за 2005 р. (рис. 4).

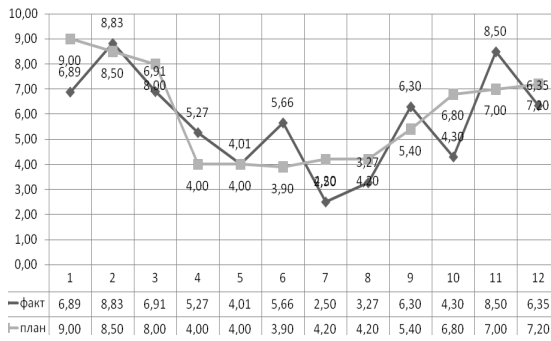


Рис. 4. Порівнювальна діаграма «Умовних» втрат в контактній мережі (план/факт) 2005 рік

Графіки зміни «умовних» втрат в різні періоди зазнають значні відхилення від очікуваних. Так, в літній час щорічно спостерігається підвищена витрата для поїздів парного напрямку. Деякі місяці характеризуються скачками показника питомого споживання.

Причиною вказаних відхилень, окрім співвідношення частки навантажених і порожніх поїздів, є зміна умов пропуску потоку поїздів. У літній час спостерігається ускладнення роботи через зростання вантажопотоку, вичерпання резервів пропускнув спроможності. Крім того, влітку великий об'єм колійних ремонтних робіт і, відповідно, вікон. Дільнична швидкість в цей період знижується, і питома витрата енергії зростає.

Значення питомої витрати по групі поїздів, які обслуговуються локомотивами однієї серії, істотно залежить від фактичного розподілення складових виконаної роботи залежно від навантаження на вісь вагону. Якщо більшість навантажених має масу, близько до уніфікованої, питома витрата відповідає номінальному навантаженню 23 т/вісь. Для поїздів з легковажними вантажами показник навантаження знижується, питома витрата енергії росте. Номінальне навантаження для порожніх поїздів рівне 7 т/вісь.

Розглянемо залежність «умовних» втрат від об'єму перевезень у 2003 р. (рис. 5).

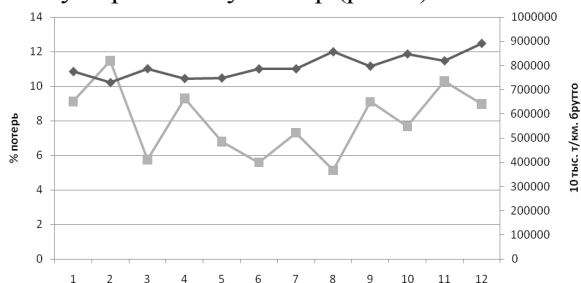


Рис. 5. Залежність "умовних" втрат від виконаної роботи за 2003 рік

Розглянемо залежність «умовних» втрат від об'єму перевезень у 2007 р. та у 2008 р. (рис. 6, 7).

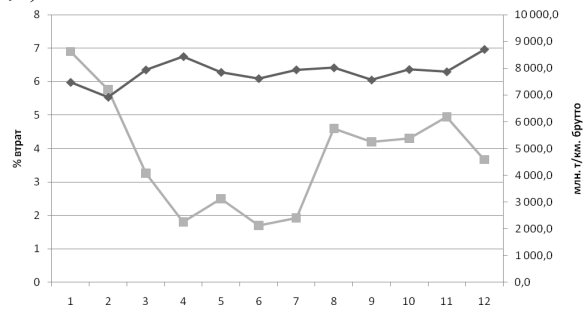


Рис. 6. Залежність "умовних" втрат в тязі від виконаної роботи за 2007 р.

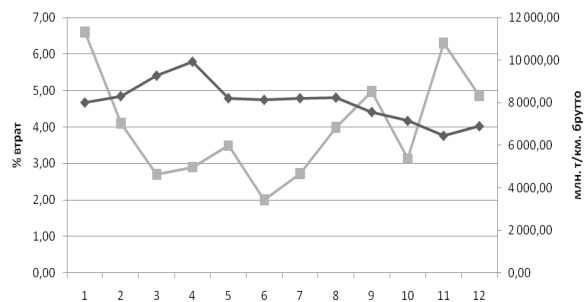


Рис. 7. Залежність "умовних" втрат в тязі від виконаної роботи за 2008 р.

Нижча питома витрата енергії в літній час групи стандартних парних поїздів в порівнянні з витратою всіх вантажних пояснюється тим, що на дистанції спостерігається зменшення доли поїздів з неповною загрузкою вагонів.

Подальші дослідження показали, що відбір енергії з контактної мережі для нетягових споживачів впливає на сезонні коливання і порівняний з впливом вагового чинника. Дані, отримані при проведенні енергетичного обстеження електротяги, показують наступне:

- Показник витрат зафіксований на тягових підстанціях, в зимовий час обтяжений інтенсивним споживанням по фідерах контактної мережі, які живлять парки депо. Місячний об'єм енергії, що витрачається при відстої кВт.год. Об'єм цього споживання системою депо-вського обліку фіксується не повністю, що обумовлене низькою чутливістю лічильників на ЕРС при малих навантаженнях.

- Недооблік витрати досягає 50 % від об'єму енергії, яка віддається через фідер контактної мережі, що живить депо. Другою причиною збільшення витрат в холодну пору року служить безконтрольний відбір енергії з контактної мережі на господарські і технологічні по-

треби локомотивних, вагонних депо, станцій і інших підрозділів.

Розглянуті чинники приводять до підвищення місячних витрат по ряду депо в зимовий час на 2 – 4 млн. кВт·год., або до 9 % всього звітного споживання по депо. Відповідно збільшується і показники небалансу між даними обліку на тягових підстанціях і ЕРС для відділення залізниць і залізниці в цілому.

#### Висновки

1. На величину «умовних» втрат електроенергії в тяговій мережі впливає низка факторів - сезонність споживання електроенергії, кліматичні фактори, рівень досконалості системи обліку електроенергії на тягових підстанціях та електрорухомому складі.

2. Наведення ладу в обліку об'ємів енергії, що витрачаються на нетягові потреби, приведе до більш точної картини сезонної зміни споживання на електротязі, виключенню зростання показника «умовних» втрат в зимовий час.

#### БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Методика розрахунку норм витрат дизельного палива і електроенергії на тягу поїздів. ЦТ-0099: Затв.: Наказ Укрзалізниця від 09.06.04 р. № 113-Ц [Текст] / Розроб. Г.В. Євдомаха, В.І. Дробаха, К.І. Железнов.-К.:Мінво трансп. України. Держ. адмін. заліз. трансп. України. Укрзалізниця,2004.-60с.

2. Быкадоров,А.Л. Учёт потерь электроэнергии на электрифицированных участках переменного тока [Текст] / А. Л. Быкадоров, В. Т. Доманский // Железнодорожный транспорт.-1980.-№4.-С.57-59.

3. Кузнецов,В.Г. Экспериментальное дослідження "умовних втрат" електроенергії в тяговій мережі [Текст] / В.Г. Кузнецов, Ю.М. Сергачий, Т.І. Кирилюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий.-2011.-№4/8 (52).-С.29-33.

4. Кузнецов, В. Г. Экспериментальная проверка величин «условных потерь» электроэнергии в контактной сети [Текст] / В.Г. Кузнецов, Ю.Н. Сергачий // Материалы II международной научно-практической конференции "Энергосбережение на железнодорожном транспорте".-2011.-пгт. Ждениево:ДНУЖТ.-С.38-40.

**Ключові слова:** тягова мережа, електрична енергія, умовні втрати, динаміка.

**Ключевые слова:** тяговая сеть, электрическая энергия, условные потери, динамика.

**Keywords:** traction network, electrical energy, the conditional losses.

## ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ГОСПОДАРСТВАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

*Представив д.т.н., професор Панасенко М.В.*

### Загальна характеристика господарства

На сьогоднішній день експлуатаційна довжина електрифікованих ділянок залізниць України становить 9877 км або 45,5% від загальної довжини головних колій, при цьому 89,7% експлуатаційної роботи виконується саме на електротязі.

Оптимальним, на думку міжнародних експертів, для країн з розвинутою залізничною інфраструктурою є електрифікація 50-60% загальної довжини залізничних мереж країни з виконанням ними 90-95% загального обсягу перевезень.

На сьогодні за абсолютною довжиною електрифікованих залізниць Україна займає 10-те місце серед країн світу та 6-те серед країн Європи.

Основна електрифікація залізниць України була виконана в 50-70 роках минулого століття, коли за рік вводилось по 500 і більше кілометрів електрифікованих ліній. На початок 1991 року ми мали 8067,3 км. Протягом 1991-2009 років було електрифіковано ще близько 1700 км колій, тобто за роки незалежності України власними силами Укрзалізниці полігон електрифікації збільшився на 21,9%.

Зараз ми експлуатуємо 287 стаціонарних та 14 пересувних тягових підстанцій напругою 6-220 кВ, 27 160 км розгорнутої довжини контактної мережі, майже 30 тис. км ліній 6-10 кВ живлення СЦБ, 15,3 тис. км високовольтних ліній поздовжнього електропостачання, більше 13 тис. шт. трансформаторних підстанцій, десятки тисяч кілометрів низьковольтних ліній електропередач.

Основні напрямки діяльності господарства:

- утримання технічних засобів пристроїв електропостачання;
- передача і постачання електричної енергії на потреби залізниць і сторонніх споживачів власними локальними електромережами.

В складі господарства електропостачання налічується 6 служб, 44 дистанції електропостачання, 6 структурних підрозділів Енергозбут, більше 650 лінійних структурних підрозділів.

### Впровадження АРМів та автоматизованих систем

Кожне господарство залізничного транспорту має власну структуру, власні види діяльності та особливості. Господарства, що підпорядковані Головному управлінню електрифікації та електропостачання, створені у складі залізниць України. Основним їх призначенням є забезпечення електричною енергією тяги поїздів та інших, як залізничних, так і сторонніх споживачів.

В процесі діяльності і розвитку господарство керувалося і продовжує керуватися нормативними актами, які регулюють як сферу діяльності залізничного транспорту, так і сферу електроенергетики, що внесло свій вклад у роботу залізниць, в тому числі і на процес впровадження інформаційних технологій для забезпечення їх діяльності.

Розвиток цих технологій був в основному направлений по двох напрямках:

- забезпечення оперативної діяльності щодо безпеки руху поїздів;
- забезпечення господарської діяльності щодо передачі та постачання електроенергії локальними електромережами залізниць.

Перший досвід впровадження оперативних керуючих систем прийшов на залізниці з початком електрифікації залізниць і розвитком напівпровідникової техніки, – це були системи телемеханіки для оперативно-диспетчерського управління пристроями електропостачання електрифікованих дільниць залізниць. Найбільш відомі із яких: ЕСТ(Ч)-62, ЕСТ(В)-62, «ЛІС-НА», потім «Граніт ЖД», «Граніт ЖД-Мікро» виробництва ПП «НВП «ПРОМЕКС», «Лоза-2000», виробництва ТОВ ВКФ «Автоматика-Сервіс» та систем телемеханіки виробництва НВФ «ВІНК».

Але все це були лише системи телеуправління, а не автоматизовані системи і навіть не автоматизовані робочі місця.

Перші автоматизовані робочі місця у господарстві почали впроваджуватися саме на базі енергодиспетчерських систем телемеханіки

(АРМ ЕЧЦ), і саме виробниками систем телемеханіки, як продовження їх розвитку та функціональності. Так, у 1990 році НВФ «ВІНК» впровадив свої перші розробки на двох диспетчерських колах Іловайської дистанції електропостачання: дільницях Кринична-Волинцеве та Іловайськ-Успенська. До 2004 року даний розробник був єдиним розробником цих АРМів на полігоні залізниць України, після 2004 року почали впроваджуватися АРМи ЕЧЦ розробки ТОВ ВКФ «Автоматика-Сервіс» та ПП «НВП «ПРОМЕКС».

Автоматизовані робочі місця енергодиспетчерів (АРМ ЕЧЦ) є оперативно-управляючими автоматизованими системами і працюють на базі діючих систем телемеханіки енергодиспетчерських кіл. Основне призначення АРМ ЕЧЦ – підвищення оперативності, надійності та безпеки руху поїздів і працюючих при організації робіт з експлуатації та обслуговування пристроїв електропостачання залізниць України. На даний час на залізницях впроваджено 51 АРМ ЕЧЦ (при наявності 70 енергодиспетчерських кіл електрифікованих дільниць), у тому числі по залізницях: Донецька – 11, Львівська – 9, Одеська – 11, Південно-Західна – 2, Південна – 6, Придніпровська – 12. Протягом 2005-2009 років впроваджено 17 АРМів ЕЧЦ. Економічний ефект обумовлюється підвищенням оперативності управління, безпеки руху поїздів та працюючих.

Другим напрямком впровадження автоматизованих оперативних систем для підвищення оперативності та безпеки руху поїздів є впровадження інформаційно-аналітичних автоматизованих систем реєстрації параметрів передавального, аварійного та після аварійного режимів роботи ліній електропередач та фідерів контактної мережі, визначення місця короткого замикання на лініях та передачі даної інформації на енергодиспетчерські пункти, які отримали назву «Регіна».

Це програмно-апаратний комплекс, що складається із первинних датчиків, що приєднані до трансформаторів струму та напруги відповідних приєднань тягових підстанцій, пристроїв збору та обробки інформації, пристроїв передачі даних на енергодиспетчерський пункт.

Протягом 2005-2009 років «Регіна» впроваджена більш як на 100 тягових підстанціях з передачею інформації на 20 енергодиспетчерських пунктів. Економічний ефект від впровадження системи полягає у значному зменшенні часу на пошук та локалізацію місць короткого замикання на лініях електропередач та фідерах

контактної мережі, скорочення людських і паливно-енергетичних ресурсів на процес пошуку та локалізації.

### **Впровадження АСКОЕ**

Для забезпечення господарської діяльності з передачі та постачання електроенергії, починаючи з 2001 року, на залізницях України активно впроваджуються автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ).

Автоматизована система комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) є інформаційно-аналітичною системою комерційного обліку електроенергії, що впроваджується для забезпечення виконання вимог нормативних документів Оптового ринку електроенергії (ОРЕ) та Міністерства палива та енергетики України щодо погодинного обліку електроенергії. Наявність АСКОЕ є необхідною технічною умовою роботи залізниць на ОРЕ. На даний час система працює по всіх залізницях (забезпечуючи охоплення більшої частини точок перетоків між суб'єктами електропостачання), продовжується її розширення, модернізація та приведення до вимог нових нормативних документів.

### **Призначення АСКОЕ. Основні вирішувальні питання**

Основною метою, яка досягається при впровадженні АСКОЕ, є отримання достовірної інформації про обсяги споживання, генерації, передачі і розподілу електроенергії та потужності всіма об'єктами системи електропостачання залізниць для вирішення наступних техніко-економічних завдань:

- комерційних розрахунків за електроенергію і потужність між Оптовим ринком та залізницями, між постачальниками електроенергії (Обленерго) та залізницями, між підприємствами електропостачання залізниць і споживачами, які живляться від локальних мереж залізничного транспорту;

- визначення енергооптимальних режимів роботи і керування режимами енергоспоживання, а також планування перевізного процесу виходячи із енергооптимальних режимів споживання;

- визначення та прогнозування всіх складових балансу електроенергії на об'єктах електропостачання;

- визначення вартості передачі та розподілу електроенергії.

Економічний ефект від впровадження АСКОЕ на залізницях досягається за рахунок:

- регулювання та зменшення пікового навантаження в енергосистемі України;
- закупівлі електроенергії на Оптовому ринку і за диференційованими за періодами часу тарифами на електроенергію;
- регулювання обсягів споживання і виявлення перетоків активної та реактивної електроенергії;
- істотного зменшення експлуатаційних витрат на енергозбутову діяльність;
- оптимізації режимів роботи залізничних електромереж в цілому.

### **Структурна схема АСКОЕ**

АСКОЕ залізниць України будується у відповідності до ієрархічного принципу, як багаторівнева система:

I рівень – Рівень об'єктів обліку;

II рівень – Регіональний рівень (рівень диспетчерських пунктів дистанцій електропостачання (ЕЧ), регіональних підрозділів Енергозбуту (ЕЕЛ));

III рівень – Центральний (рівень диспетчерського пункту залізниці);

IV рівень – Головний рівень (рівень диспетчерського пункту Укрзалізниці).

Головний рівень створюється в перспективі, після завершення або у процесі завершення впровадження АСКОЕ на всіх залізницях, при управлінні енергозбуту Головного управління електрифікації та електропостачання Укрзалізниці.

**Рівень об'єктів** включає в себе технічні засоби обліку електричної енергії тягових підстанцій, розподільчих пунктів 6, 10 кВ та трансформаторних підстанцій залізничних вузлів, пунктів живлення і т.д., технічних засобів та програмного забезпечення автоматизованого збору даних, їх первинної обробки, відображення та передачі на регіональний пункт збору даних (УЗПД).

**Регіональний рівень** (РУЗД) складається з технічних засобів та програмного забезпечення центрів збору і обробки даних регіонів дистанції електропостачання залізниці, що забезпечують організацію збору даних з об'єктів обліку, їх обробку, зберігання, відображення, генерацію звітів і передачу на центральний рівень та надання (при необхідності) інформації електропостачальним та електропередавальним організаціям. Диспетчерських на регіональному рівні може бути стільки, скільки ЕЧ (ЕЕЛ) на залізниці, але можливе і об'єднання регіонів ЕЧ в один об'єднаний диспетчерський пункт, якщо це вигідно по територіальним функціям і по організації зв'язку.

**Центральний рівень АСКОЕ** (ЦУЗПД) складається з технічних засобів та програмного забезпечення збору даних з II рівня, обміну даними, їх обробки, відображення, генерації звітів, зберігання і передачі даних про споживання електроенергії в енергопостачальну (електропередавальну) організацію, а також видачу інформації для проведення розрахунків за електроенергію. Диспетчерський пункт центрального рівня створюється один на залізницю, він може бути єдиним з диспетчерським пунктом одного, або декількох ЕЧ (ЕЕЛ), якщо за територіальним станом організації взаємодії це вигідно.

**Головний рівень** (ГУЗПД) складається з технічних засобів і програмного забезпечення для збору даних з ЦУЗПД залізниць, їх обробки, аналізу, генерації звітів, коригування купівлі (продажу) електричної енергії між залізницями.

### **Результати впровадження**

На даний час діє шість автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії залізниць України, тобто на кожній залізниці. Системи мають відповідні внутрішні та зовнішні зв'язки. Підготовлений диспетчерський апарат (старший диспетчер та 4 диспетчери на залізницю) в складі Енергозбутів залізниць, підготовлені та набрані фахівці з обслуговування: інженери-електронщики, інженери-програмісти.

Станом на 01.01.2010 в АСКОЕ залізниць України працює 144 АРМи, які отримують інформацію із 1028 електроустановок (293 тягових підстанцій, 105 центральних розподільчих та розподільчих пунктів, 630 трансформаторних підстанцій), збір та обробка інформації з інтервалом у півгодини ведеться із 4057 лічильників комерційного обліку електроенергії, цю цифру потрібно довести до 5360 – на даний час така кількість точок комерційного обліку електроенергії.

Якщо говорити про технічні засоби АСКОЕ, то інформація наступна: програмно-апаратний комплекс включає в себе 966 УЗПД I рівня (рівня тягових підстанцій, ЦРП, РП, ТП та інше), 27 РУЗПД II рівня (регіонального рівня – ЕЧ, ЕЕЛ) та 10 ЦУЗПД центрального рівня (рівня диспетчерського пункту залізниці).

Завдяки впровадженню системи АСКОЕ залізниці отримують можливість бути учасниками Оптового ринку електричної енергії та здійснювати закупівлю електроенергії за найнижчим тарифом по власному графіку споживання. Дана система дозволяє контролювати та вчасно

коригувати споживання електроенергії залізничним транспортом (по тарифним зонам) в основному за рахунок складання оптимального за вартістю графіку руху поїздів.

В цілому за рахунок функціонування АС-КОЕ, а саме автоматизації процесів обліку та контролю використання електроенергії, проведення взаєморозрахунків з постачальниками та споживачами електроенергії протягом 2001-2010 року залізницями було досягнуто економії витрат від застосування прогресивних методів закупівлі електроенергії в розмірі 620,5 млн. грн. (окупність більше 3 разів). У тому числі за 2005-2010 роки економічний ефект склав 555,1 млн. грн. і за ці роки окупність підвищилася до семи разів. Найбільшу економію витрат досягають залізниці, що купують електроенергію у оптового постачальника за власним тарифним графіком, це Донецька, Південно-Західна, а з 01.11.2010 і Придніпровська. В цілому з початку роботи на ОРЕ економія витрат цих залізниць в загальній сумі складає 351,8 млн. грн. або 57%.

#### **Інші автоматизовані системи та АРМи**

Автоматизована система «Облік електроенергії та ведення фінансових розрахунків зі споживачами» є мережевим програмним комплексом, призначеним для автоматизації роботи регіональних відділів та підрозділів головного офісу структурних підрозділів «Енергозбут», які беруть участь у технологічному циклі по обліку та реалізації електричної енергії. Вона призначена для вирішення таких завдань, як автоматизація процесів обліку та контролю використання електроенергії, проведення взаєморозрахунків з постачальниками та споживачами електроенергії, обліку використання електроенергії промисловими та побутовими споживачами, а також на тягу поїздів та на власні потреби залізничного транспорту, облік витрат електроенергії.

Система допомагає збільшити ефективність управління енергозбутовою діяльністю за рахунок забезпечення більшої достовірності, повноти, своєчасності інформації, що надходить, а також дає можливість уникнути зловживань з боку працівників, які здійснюють прийом звітів за використану електроенергію та видачу рахунків споживачам.

Розробником системи є ДП «Проектно-конструкторське технологічне бюро з автоматизації систем управління на залізничному транспорті України» (ПКТБ), головним підрядником – ТОВ «ПАМАК» (Київ).

*АРМ інженера з охорони праці* призначений для автоматизації роботи інженера з охорони праці в частині підготовки, аналізу та узагальнення звітних матеріалів.

На даний час цими АРМами обладнані 30 робочих місць інженерів з охорони праці господарства електропостачання, в тому числі на залізницях Донецькій – 5, Львівській – 1, Одеській – 7, Південно-Західній – 1, Південній – 7 та Придніпровській – 9. Ефективність їх полягає у підвищенні продуктивності праці інженерів з охорони праці.

АРМи інженерів з тягових підстанцій (ЕЧЕ) та інженерів з контактної мережі (ЕЧК) технічних відділів. У 2007 році впроваджено 6 АРМів ЕЧК (по одному на залізницях) та один АРМ ЕЧЕ на Запорізькій дистанції електропостачання. АРМ призначений для автоматизації роботи інженерів технічних відділів. Подальше впровадження даних АРМів призупинено з наступних причин: недосконалість програмного забезпечення, низька функціональність через відсутність системної ієрархії, що можливо лише при впровадженні системних багаторівневих систем управління інфраструктурою залізниць. Тобто дані технологічні АРМи повинні впроваджуватися комплексно на базі та спільно із автоматизованими системами управління інфраструктурою залізниць.

На сьогоднішній день головне управління електрифікації та електропостачання Укрзалізниця, аналізуючи досвід впровадження інформаційних технологій у підпорядкованих господарствах, прийшло до висновку, що для підвищення ефективності роботи господарств їх потрібно впроваджувати більш інтенсивно, і в той же час комплексно, по принципу забезпечення експлуатаційної діяльності окремих напрямків, наприклад: інфраструктури – це той напрямок, який взагалі відстає. А інформаційне забезпечення діяльності підприємств інфраструктури залізниць може дати значний економічний ефект та підвищити рівень управління, якість утримання інфраструктури і безпеки руху поїздів.

**Ключові слова:** електропостачання, автоматизовані робочі місця, автоматизовані системи.

**Ключевые слова:** электроснабжение, автоматизированные рабочие места, автоматизированные системы.

**Keywords:** power supply, workstations, automated systems.

## МЕТОДОЛОГІЧНІ КОНЦЕПЦІЇ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ

*Представив д.т.н., професор Гончаров Ю.П.*

### Вступ

Ускладнення технологічних процесів і режимів роботи пристроїв тягового електропостачання, підвищення вимог до надійності і безперебійності їх функціонування, перехід на нові економічні і соціальні умови роботи дистанцій електропостачання, а також тенденція до широкого застосування в електроенергетиці сучасної мікроелектронної і мікропроцесорної техніки є основними чинниками, що вимагають і визначають концепцію підвищення технічної досконалості, надійності функціонування і розширення області автоматичного керування тягового електропостачання.

### Основна частина

Розвиток і вдосконалення систем управління електропостачання електрифікованих залізниць України вимагають визначення стратегічних принципів побудови їх математичного забезпечення, особливо в частині, що стосується автоматизації процесів підготовки і вибору рішень. Результати досліджень [1] свідчать про доцільність переходу до широкого використання в автоматизованих системах управління (АСУ) баз знань і заснованих на них когнітивних методів підтримки ухвалення рішень. Вживання когнітивних методів (когнітивність, від лат. *cognitio*, «пізнання, вивчення, усвідомлення») стало можливим завдяки розвитку ідей штучного інтелекту. Найважливіша перевага когнітивного методу – відвертість системи управління по відношенню до знань, можливість їх оперативного поповнення і уточнення. У поєднанні з автоматичною розробкою програм обробки даних це забезпечує адаптивність системи, модифікується її програмне забезпечення.

Іншою перевагою систем, заснованих на знаннях, є можливість автоматичної інтерпретації станів зовнішнього середовища і системи на мові понять представлення результатів аналізу ситуацій у формі звичній для людини. Для таких систем характерне уявлення знань і відомостей про обстановку на декількох рівнях:

- об'єктів і процесів у фізичній реальності;

- елементів інформації і завдань їх обробки;

- даних і програм ЕОМ.

Наявність єдиної бази знань створює передумови для інтеграції інформаційно-розрахункових систем (ІРС) і АСУ різних рівнів в інформаційне керуючі системи (ІКС) з метою підвищення технічної досконалості та надійності функціонування системи керування пристроями тягового електропостачання електрифікованих залізниць.

Основними чинниками які визначають концепцію підвищення технічної досконалості та надійності функціонування системи керування тягового електропостачання [2, 3] є:

- рішення першочергових завдань що стоять перед електрифікованими залізницями України неможливо без вдосконалення системи автоматизованого управління енергопостачанням та забезпечення стійкої і надійної роботи пристроїв тягового електропостачання;

- ускладнення технологічних процесів і режимів роботи пристроїв тягового електропостачання викликані збільшенням швидкостей і інтенсивністю руху потягів;

- підвищення вимог до надійності і безперебійності функціонування електротехнічного устаткування тягових підстанцій, контактної мережі, системи управління і тягового електропостачання в цілому;

- необхідність розширення області застосування і складу завдань автоматизованих систем управління і автоматичного контролю у зв'язку з обмеженням трудових ресурсів і новими економічними та соціальними умовами роботи;

- перехід до широкого застосування сучасної мікроелектроніки і мікропроцесорної техніки, розробкою сучасних інтелектуальних систем телемеханіки і АСУ електрифікованих залізниць;

- швидкий розвиток і розповсюдження мікропроцесорної техніки, пристроїв зв'язку з об'єктом управління;

- розвиток теоретичних основ автоматизації управління;

- управління сучасними пристроями тягового електропостачання, коли потрібні висока

швидкість і надійність ухвалення рішень, повинна здійснюватися сучасними інтегрованими телемеханічними комплексами;

- силова деструктивна дія, що реалізується по дротяних і бездротових каналах зв'язку, а також після джерел живлення, в даний час є серйозною зброєю проти АСУ;

- захист автоматики і телемеханіки від внутрішніх і зовнішніх завад;

- забезпечення передачі і прийому інформації після каналів зв'язку, з достовірністю відповідної встановленим критеріям тощо.

В основу методології підвищення технічної досконалості і надійності функціонування систем автоматизованого управління покладена їх подальша інтелектуалізація і апаратно - програмна реалізація [4,5].

Електротехнічні елементи тягових підстанцій (ТП), контактній мережі (КМ), розподільчих пристроїв (РП), постів секціонування (ПС), інформаційно-керуючих телемеханічних комплексів (ІКТК), АСУ в цілому в кожен момент часу знаходяться в одному з безлічі своїх можливих станів. Перехід з одного в інший стан відбувається під впливом внутрішніх і зовнішніх причин стрибком в момент їх появи, а також відбувається безперервна зміна станів між цими моментами. До внутрішніх причин можна віднести різного роду дефекти, відхилення значень параметрів від заданих із-за старіння тощо. Зовнішні дії - вхідні управляючі і збурюючі впливи. Стан об'єкту і навколишнього середовища, що складається в даний час, включаючи систему управління, утворюють ситуацію. Безліч ситуацій може бути розділена на підмножини штатних і нештатних ситуацій, які, в свою чергу, можуть бути розділені на окремі класи. Кожному класу або окремій ситуації відповідає одне або декілька можливих управляючих рішень, найдоцільніше в даний момент по наявних знаннях. Ці рішення можуть бути екстрапольовані на заданий інтервал часу і проаналізовані відповідно до критеріїв цільової функції конкретного завдання управління. Реалізується потім тільки одне з них.

Формування управляючого рішення, у залежності від конкретного завдання може бути одне кроковим без або із зворотним зв'язком з потоковою ситуацією, або багатокроковим (ситуативним) відповідно:

$$H_1 : S_k(t_i) \rightarrow U_j, k; \quad (1)$$

$$H_2 : S_k(t_i) \rightarrow S_m [U_j(t_i)], k, m; \quad (2)$$

$$H_3 : S_k(t_i) \rightarrow S_m [U_j(t_i + T)], k, m, \quad (3)$$

де  $S_k(t_i)$  – ситуація в момент часу  $t_i$ ;

$U_j$  – управляюче рішення;

$H_1$  – безліч правил відповідності ситуаціям (класам) управляючого рішення;

$H_2$  – безліч правил відповідності ситуаціям в багатокроковому управлінні;

$H_3$  – безліч правил екстраполяції ситуацій в часі відповідно до законів роботи об'єкту.

Автоматизованій (автоматичний) контроль і управління на ТП, КМ, РП, ПС засновані в даний час в основному на одне кроковому (без або із зворотним зв'язком) ухваленні рішення. Крім того, ухвалення ними рішень здійснюється тільки в припущенні однозначності встановленої ситуації.

Реально мають місце ситуації, в яких точно визначити стан об'єкту в даний момент часу не представляється можливим з причини неповноти або неоднозначності початкової інформації при наявних тимчасових і ін. обмеженнях. В цих умовах існуючі системи керування не володіють здатністю здійснювати багатокрокове керування та діяти цілеспрямовано зі своєї недосконалості, що знижує їх ефективність. На цей час на дистанціях електропостачання електрифікованих залізниць Україні застосовують застарілі системи автоматизованого керування (біля 90%) [6].

Виходячи з цього інтелектуалізація систем, за пропозицією автора, передбачає:

- підвищення їх інформованості при розпізнаванні і ідентифікації станів об'єкту за рахунок розширення складу параметрів ознак і джерел інформації і створення правил відповідності ситуаціям;

- додання їм здібності цілеспрямованого ухвалення достовірного рішення в умовах часткової невизначеності ситуації з використанням методів експертних систем та орієнтацією їх на роботу в реальному масштабі часу в умовах динамічних ситуацій;

- реалізацію багатокрокового (ситуативного) управління;

- самоконтроль і відновлення основних функцій шляхом реконфігурації системи;

- надання інтелектуальних послуг, включаючи видачу порад і довідкової інформації у різних нештатних ситуаціях;

- розвиток функціональних можливостей шляхом нарощування програмного забезпечення і «навчання системи» тощо.

## Висновки

1. Концепції підвищення технічної досконалості і надійності функціонування систем авто-

матимого та автоматичного керування повинні відповідати сучасній тенденції розвитку пристроїв тягового електропостачання і здійснюються на сучасних досягненнях науки і техніки в області принципів і засобів автоматизації.

2. Інтелектуалізація систем автоматизованого управління, яка прийнята як методологічна концепція, передбачає:

- підвищення їх інформованості при розпізнаванні і ідентифікації станів об'єкту за рахунок розширення складу параметрів ознак і джерел інформації;

- додання їм здібності цілеспрямованого ухвалення рішення в умовах часткової невизначеності ситуації з використанням методів експертних систем, коли це підвищує їх ефективність;

- реалізацію багатокрокового (ситуативного) управління;

- самоконтроль і відновлення основних функцій, надання інтелектуальних послуг, розвиток функціональних можливостей.

3. Згідно запропонованих автором концепцій удосконалення системи керування тягового електропостачання першочерговими напрямками є:

- комплектація ТП, КМ, РП, ПС сучасним силовим електроустаткуванням;

- створення сучасних мікропроцесорних інформаційне – керуючих комплексів для ТП з метою розширення області автоматизації та здійснення автоматизованого комерційного обліку електроенергії;

- розширення області автоматизації і підвищення якості виконання завдань контролю і управління пристроями КМ, РП, ПС;

- для забезпечення ефективного керування сучасними системами електропостачання електрифікованих залізниць Україні необхідно проводити поетапну заміну застарілої телемеханіки на сучасні інтегровані системи керування. Впровадження на об'єктах залізничної енергетики сучасних ІУТК дозволяє зробити ці об'єкти не обслуговуваними (відсутність постійного чергового персоналу), це шлях до поліпшення

техніко-економічних показників функціонування пристроїв тягового електропостачання залізниць.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ярушек, В. Е. Применение логики присутствия в интеллектуальных информационно-управляющих системах [Текст] / В. Е. Ярушек, В. Г. Прохоров // Материалы Второй Всесоюз. конф. «Искусственный интеллект-90» – Минск. – 1990. – Т. 3. – С. 198—202.

2. Котельников, А. В. Мировые тенденции в развитии электрификации железных дорог на рубеже веков [Текст] / А. В. Котельников, А. Н. Глonti. // Бюллетень ОСЖД. Варшава. – 2001. – №6. – С. 9–18.

3. Матусевич, А. А. Некоторые подходы к развитию телемеханики [Текст] / А. А. Матусевич // Залізничний транспорт України. – 2007. - № 2. – С. 77 – 80.

4. Жарков, Ю. И. Основные концепции совершенствования систем автоматического управления электроснабжения тяги [Текст] / Ю. И. Жарков // Материалы МНК. Варшавский технологический университет. – Варшава (Польша) – 1989. – С. 67 – 72.

5. Молчанов, А. А. Моделирование и проектирование сложных систем [Текст] / А. А. Молчанов – К.: Вища школа, 1988. – 359 с.

6. Аналіз роботи господарства електрифікації та електропостачання в 2009, 2008 роках. Міністерство транспорту України. Головне управління електрифікації та електропостачання.

**Ключові слова:** тягове електропостачання, системи керування, удосконалення.

**Ключевые слова:** тяговое электроснабжение, системы управления, усовершенствование.

**Keywords:** traction power supply, control systems, improvement.

## ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ ЗМІННОГО СТРУМУ ПРИ ВМИКАННІ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЕЛЕКТРОВОЗА ДСЗ У РЕЖИМІ ХОЛОСТОГО ХОДУ

*Представив д.т.н., професор Костін М.О.*

### Вступ

З теорії трансформаторів відомо, що при вимиканні ненавантаженого трансформатора з феромагнітним осердям в мережу синусоїдальної напруги в його первинній обмотці можливий короткочасний стрибок струму намагнічування, значення якого нерідко перевищують в 20 і більше разів амплітуду усталеного значення струму холостого ходу трансформатора. Такі сплески струму можуть викликати не тільки помилкове спрацювання деяких видів захисту, але і механічне руйнування обмотки, оскільки електродинамічні сили, що впливають на неї, пропорційні квадрату струму. Знання величин зазначених стрибків струму також важливо при оцінці виникаючих перенапруг та електричних показників системи. Окрім цього, розробка адекватної математичної моделі дасть можливість створити необхідне програмне забезпечення для аналізу перехідних електромагнітних процесів в системі замість проведення дороговартних натурних її випробувань.

І в той же час досліджуваний режим холостого ходу є нерідкісним режимом роботи електрорухомого складу: він виникає при зрушенні з місця електровоза і частково при переході його струмоприймачем нейтральної вставки контактної мережі.

Дослідження електромагнітних перехідних процесів можливе наступними способами: натуральними експериментальними випробуваннями на діючих ділянках; фізичним комп'ютерним (імітаційним) чи математичним моделюванням. Проведення натурних випробувань дороговартне і пов'язане з можливим виходом із ладу елементів досліджуваної системи. Для фізичного моделювання, по-перше, потрібно змонтувати в лабораторії досліджувану систему, по-друге, масштабний фактор може відіграти негативну

роль в отриманні дійсних результатів. Комп'ютерне (імітаційне) моделювання має справу не з реальними, а віртуальними елементами системи і постає питання вірогідності отриманих результатів. Тому, на нашу думку, найбільш ефективним методом дослідження перехідних електромагнітних процесів є метод математичного моделювання, який і застосований у цій роботі.

Ця робота відрізняється від інших подібних публікацій врахуванням впливу на перехідний процес режиму холостого ходу параметрів і режимів роботи власне системи тягового електропостачання, тобто, тим, що розглядається вся динамічна система «тягова мережа–електровоз».

Враховуючи важливість дослідження процесів у системи електротяги з новими українськими електровозами, ця робота виконана на прикладі електровозів ДСЗ, що експлуатуються на Південно-Західній залізниці, зокрема на електрифікованій ділянці Боярка-Фастов. При цьому оцінимо вплив на перехідні процеси в системі: параметрів тягової мережі; коливання напруги на виході тягової підстанції; руху електровоза з поїздом; наявності та значень параметрів установки поперечної ємнісної компенсації (УПСК).

### Електричні системи заміщення та математичні моделі системи.

Наведемо схеми заміщення та математичні моделі процесів, що протікають в зазначених системах. На цих схемах: тягова мережа (ТМ); електрорухомий склад (ЕРС); тягова підстанція (ТП); пристрій поперечної компенсації (ППК).

#### Система «ТП – ТМ – ЕРС»

Схема заміщення такої системи, тобто з урахуванням параметрів тягової підстанції, представлена на Рис. 1.

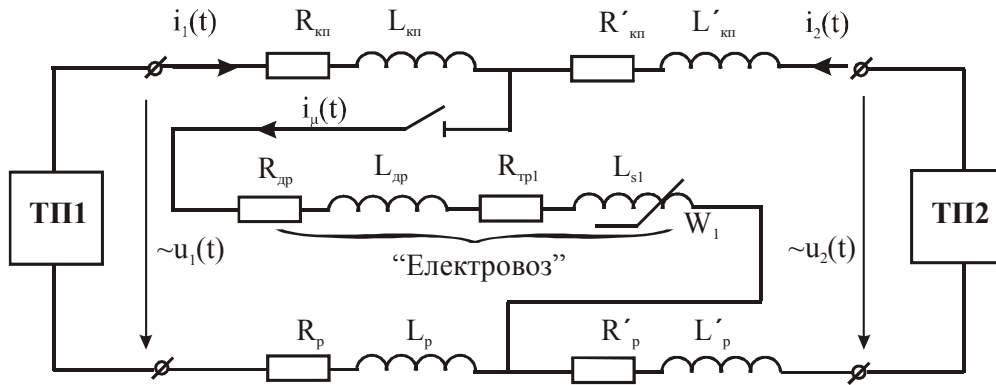


Рис. 1. Схема заміщення системи «тягова підстанція – тягова мережа – електрорухомий склад»

Електромагнітні процеси в схемі рис. 1 описуються рівнянням (1)

$$R_{\text{ТП}} \cdot i_1(t) + L_{\text{ТП}} \cdot \frac{di_1}{dt} + (R_{\text{кп}} + R_{\text{п}}) \cdot i_{\mu}(t) + (L_{\text{кп}} + L_{\text{п}}) \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + (R_{\text{др}} + R_{\text{тр1}}) \cdot i_{\mu}(t) + (L_{\text{др}} + L_{\text{с1}}) \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + W_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = 1,1 \cdot e_1(t),$$

$$\Phi(t) = 0,1234 + 0,0003 \cdot i_{\mu}(t),$$

де  $R_{\text{ТП}} = 0,176$  Ом – активний опір тягової підстанції;  $L_{\text{ТП}} = 0,0177$  Гн – індуктивність тягової підстанції;  $1,1 \cdot e_1(t)$  – е.р.с. тягової підстанції;  $W_1$  – кількість витків первинної обмотки трансформатора.

#### Система «ТП – ППК – ТМ – ЕРС»

Як відомо [1, 2], для покращення якості електричної енергії в тягових мережах використовують пристрої поперечної компенсації (ППК). Тоді електрична схема заміщення системи електротяги однопутної ділянки двостороннього живлення з урахуванням ППК реактивної потужності може бути представлена у вигляді:

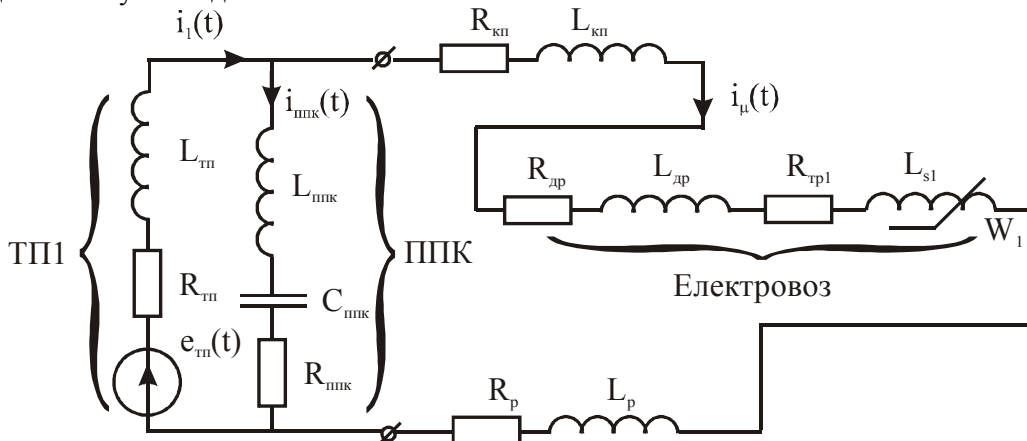


Рис. 2. Схема заміщення системи електричної тяги з урахуванням поперечної компенсації реактивної

Згідно рис. 2, математична модель електромагнітних процесів є наступною системою нелінійних рівнянь:

$$R_{\text{ТП}} \cdot i_1(t) + L_{\text{ТП}} \cdot \frac{di_1}{dt} + R_{\text{ппк}} \cdot i_{\text{ппк}}(t) + L_{\text{ппк}} \cdot \frac{di_{\text{ппк}}}{dt} + \frac{1}{C_{\text{ппк}}} \int_0^t i_{\text{ппк}}(t) dt = 1,1 \cdot e_1(t),$$

$$-R_{\text{ппк}} \cdot i_{\text{ппк}}(t) - L_{\text{ппк}} \cdot \frac{di_{\text{ппк}}}{dt} - U_c(0) - \frac{1}{C_{\text{ппк}}} \int_0^t i_{\text{ппк}}(t) dt + (R_{\text{кп}} + R_{\text{п}}) \cdot i_{\mu}(t) + (L_{\text{кп}} + L_{\text{п}}) \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + (R_{\text{др}} + R_{\text{тр1}}) \cdot i_{\mu}(t) + (L_{\text{др}} + L_{\text{с1}}) \cdot \frac{di_{\mu}}{dt} + W_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = 0,$$

$$i_1(t) - i_{\text{ппк}}(t) - i_{\mu}(t) = 0,$$

де індекс «ппк» – означає параметри та електричні величини пристрою поперечної компенсації з даними  $R_{\text{ппк}} = 67,18$  Ом;  $L_{\text{ппк}} = 107,03$  мГн;  $C_{\text{ппк}} = 10,617$  мкФ.

## Результати чисельних розрахунків та аналіз струму намагнічення

Чисельні розрахунки систем рівнянь (1)–(4) виконано для числових даних, приведених у роботі [3], та параметрів ППК, наведених вище. Із отриманих величин найбільш важливою є часова залежність струму намагнічування  $i_\mu(t)$  тягового трансформатора; у зв'язку з цим проаналізуємо такі залежності.

Як впливає із рис. 3, часовий характер зміни струму намагнічування  $i_\mu(t)$  однаковий для всіх розглядуваних систем при різних відстанях  $\ell$  від ТП і має вигляд спадаючої гостровершинної кривої, яка відрізняється від синусоїдної залежності. Однак максимальне значення (кидок) струму намагнічування  $I_{\mu max}$  різне для різних значень відстані  $\ell$  (рис. 3, а та б, а також рис. 4).

З «ускладненням» системи, тобто з урахуванням більшої кількості елементів електрифікованої ділянки, величина кидка струму збільшується: наприклад, при  $\ell = 10$  км значення  $I_{\mu max}$  для схем заміщення «ТМ – ЕРС» склало 469,2 А, для «ТП – ППК – ТМ – ЕРС» – вже 619,4 А.

Зі збільшенням відстані  $\ell$  (тобто, чим далі від ТП знаходиться електровоз) величина кидка струму  $I_{\mu max}$  зменшується (рис. 4); найбільше значення  $I_{\mu max}$  спостерігається при  $\ell = 0$  км і досягає  $\sim 700$  А.

Електричні кола розглядуваних систем (рис. 1, 2) являють собою активно-індуктивні ( $R-L$ ) кола. Для таких кіл, як відомо із теоретичної електротехніки, тривалість перехідного процесу  $T_{\text{пн}}$  при вмиканні кола дорівнює:  $T_{\text{пн}} = (4...5)\tau = (4...5)\frac{L}{R}$ , де  $\tau$  – стала часу кола, а  $R$  та  $L$  – еквівалентні активний опір і індуктивність кола. Тоді зі збільшенням  $\ell$ , тобто зі збільшенням розрахункової довжини тягової мережі, у більшій мірі збільшується її активний опір й тим самим зменшується  $T_{\text{пн}}$ . За такої ж причини збільшується  $T_{\text{пн}}$  і, отже, довше установлюється усталений процес у більш складній, тобто реальній, системі електрифікованої ділянки (таблиця).

Характер зміни в часі перехідних струмів фідерного  $i_\phi(t)$ , пристрою компенсації  $i_{\text{ппк}}(t)$  та тягової мережі  $i_{\text{тм}}(t)$  в залежності

від фідерної напруги і місця знаходження електровоза в міжпідстанційній зоні (тобто відстані  $\ell$ ) однаковий (рис. 5). Однак кидки зазначених струмів різні (таблиця): найбільші максимальні значення, які досягають  $\sim 830$  А, спостерігаються у фідерного струму при  $U_{\text{max}}$  і  $\ell = 20$  км. Найбільша «реакція» зменшення амплітуди від  $\ell$  спостерігається для струму в тяговій мережі і майже не змінюється кидок струму у вітті з пристроєм компенсації.

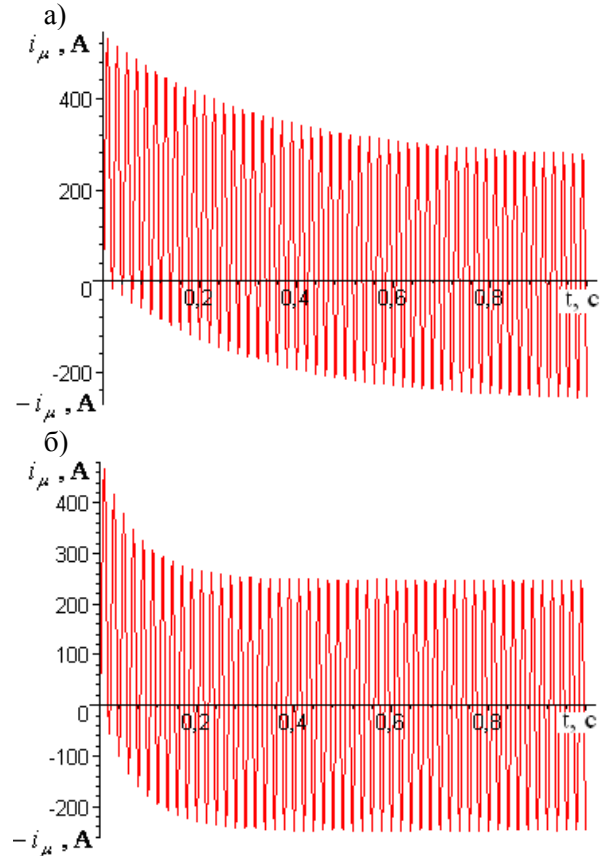


Рис. 3. Часові залежності струму намагнічування: а, б – для системи «ТП – ТМ – ЕРС» при  $\ell$  відповідно 0 та 20 км

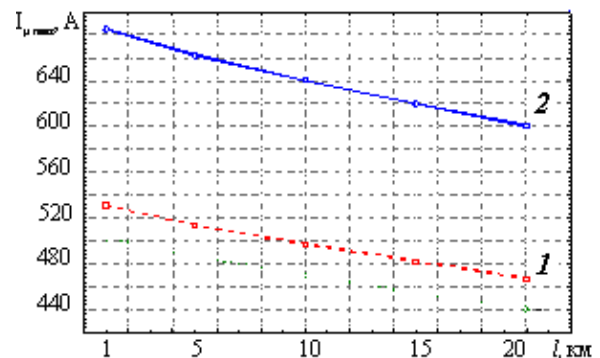


Рис. 4. Залежність максимального значення (кидка) струму намагнічування від відстані  $\ell$  розташування електровоза відносно тягової підстанції: 1, 2 – для розрахункових систем відповідно «ТП – ТМ – ЕРС», «ТП – ППК – ТМ – ЕРС»

Фідерна напруга	$\ell = 1 \text{ км}$			$\ell = 20 \text{ км}$		
	Максимальні значення струмів, А					
	$i_{\phi}$	$i_{\text{ппк}}$	$i_{\mu}$	$i_{\phi}$	$i_{\text{ппк}}$	$i_{\mu}$
$U_{\text{min}}$	543,49	225,6	505,36	493,43	225,75	450,4
$U_{\text{ном}}$	715,02	296,73	664,86	649,15	296,9	592,6
$U_{\text{max}}$	829,53	344,36	771,33	753,3	344,6	687,5

Як впливає із рис. 5, спостерігається особливий часовий характер зміни струму у вітці з пристроєм компенсації  $i_{\text{ппк}}(t)$ . Дійсно, якщо  $i_{\phi}(t)$  та  $i_{\mu}(t)$  загасають повільно (десь за 1,5...2,0 с), коливаючись, то  $i_{\text{ппк}}(t)$  миттєво збільшується до 230 А, також миттєво зменшується до 25 А і далі швидко загасає за 0,15...0,2 с. Такі закономірності поведінки перехідних струмів, певно, обумовлені нелінійністю досліджуваного електричного кола (рис. 2).

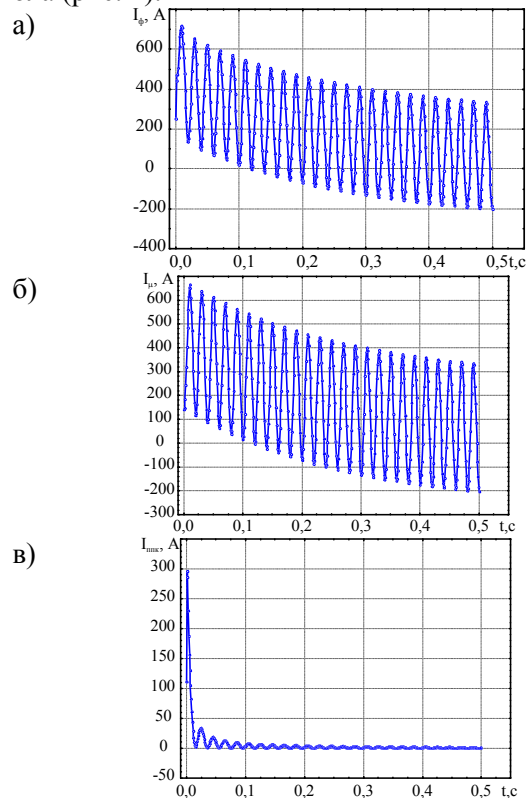


Рис. 5. Залежність струмів: фідерного (а)  $i_{\phi}(t)$ , у вітці пристрою поперечної компенсації (б)  $i_{\text{ппк}}(t)$  та в тяговій мережі (в)  $i_{\mu}(t)$  від часу на відстані 1 км від тягової підстанції при фідерній напрузі  $U_{\text{ном}}$

### Висновки

1. Вмикання силового тягового трансформатора у режимі холостого ходу є найбільш небезпечним при розташуванні електровоза ДСЗ

біля тягової підстанції ( $\ell = 0 \text{ км}$ ). У цьому випадку, по-перше, кидок струму намагнічування найбільший і досягає  $\sim 685 \text{ А}$  і, по-друге, тривалість перехідного процесу до установаження усталеного процесу найдовша і дорівнює 0,7...1,1 с.

2. Режим вмикання тягового трансформатора електровоза ДСЗ без його навантаження впливає не лише на характер зміни і кидки струму намагнічення самого трансформатора, але й на електромагнітні процеси в системі тягового електропостачання, що потрібно враховувати при аналізі процесів в системі електричної тяги.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Мамошин, Р.Р. Влияние поперечной ёмкостной компенсации на электромагнитные процессы в тяговой сети переменного тока [Текст] / Р.Р. Мамошин, А.П. Милютин, А.В. Фролов, А.И. Щуров // Электричество. – 1984. – № 5. – С. 9-12.
2. Мамошин, Р.Р. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / Р.Р. Мамошин, А.Н. Зимакова // –М.: Транспорт, 1980. – 296 с.
3. Міщенко, Т.М. Математичне моделювання перехідних процесів в системі змінного струму «тягова мережа – електровоз». 1. Вмикання силового трансформатора електровоза в режимі холостого ходу; оцінка параметрів [Текст] / Т.М. Міщенко, А.І. Кійко // Вісник ДНУЗТ. – 2011. – № 36. – С. 9-12.

**Ключові слова:** математична модель, тягова підстанція, фідерна напруга, пристрій поперечної компенсації, тягова підстанція, параметри тягової мережі, електровоз, трансформатор.

**Ключевые слова:** математическая модель, тяговая подстанция, фидерное напряжение, устройство поперечной компенсации, тяговая подстанция, параметры тяговой сети, электровоз, трансформатор.

**Keywords:** mathematical model, hauling substation, device of transversal indemnification, parameters of hauling network, electric locomotive, transformer.

## РЕЛЕЙНИЙ МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ЗАХИСТ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ОСНОВАНИЙ НА НОВІЙ ОЗНАЦІ.

### 2. СХЕМНЕ РІШЕННЯ

#### Структура системи збирання та обробки інформації

Зростання складності керування, контролю, вимірювання обумовило необхідність високого ступеня автоматизації процесів обчислення параметрів технологічного процесу. Всі ці, різноманітні по своїй фізичній суті, задачі можуть бути вирішені на основі використання автоматизованих систем збирання та обробки даних (ЗОД). Основна тенденція проектування сучасних ЗОД спрямована на створення систем, які базуються на застосуванні мікропроцесорної техніки.

Технічні засоби для реалізації автоматизованих систем ЗОД повинні містити комплекс пристроїв, які реалізують задачу введення інформації в мікропроцесор (МП) без участі людини. Ця задача вирішується на основі введення датчиків первинної інформації. На основі вищевикладеного можна зазначити, що автоматизована система ЗОД являє собою складний технічний пристрій, який в найбільш загальному випадку здійснює автоматичне обчислення сукупних параметрів управління контролю вимірювання об'єктів, реєстрації результатів обчислення, та прийняття рішення на виконання певної реакції.

Метою проведення збирання та обробки даних є отримання достовірної інформації про поточний стан об'єкта та раціональна організація процесів управління, контролю, вимірювання з високою ефективністю. Дійсно ефективність процесу повністю визначається множиною параметрів  $P_1, P_2, \dots, P_m$  об'єкта рис. 1 [1], числові значення яких формує об'єм первинної інформації, яка подається на вхід МП, за допомогою блоку введення первинної інформації (ВПІ), який виконує задачу збирання даних.

Множина можливих маніпуляцій з об'єктом передбачає необхідність організації зворотних зв'язків для впливу на об'єкт сигналами  $C_1, C_2, \dots, C_n$ , які формуються блоком виводу результатів обробки (ВРО). Сигнали внутрішнього стану системи ЗОД  $R_1, R_2, \dots, R_k$  також формуються та реєструються блоком ВРО. В залежності від цільової взаємодії об'єкта і ЗОД можливі різні варіанти формування узагальне-

ного математичного виразу зв'язку, наприклад (1) – (3).

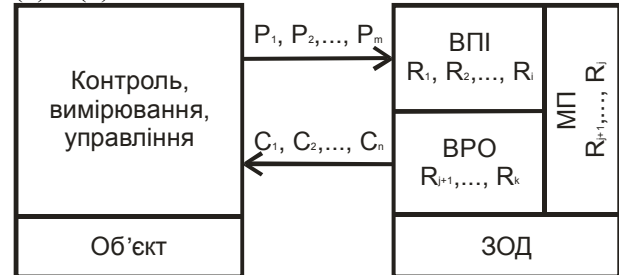


Рис. 1. Узагальнена структура зв'язку об'єкту з системою ЗОД

$$\begin{cases} C_1 = F_1(P_1, P_2, \dots, P_m, R_1, R_2, \dots, R_k); \\ C_2 = F_2(P_1, P_2, \dots, P_m, R_1, R_2, \dots, R_k); \\ \dots; \\ C_n = F_n(P_1, P_2, \dots, P_m, R_1, R_2, \dots, R_k). \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} P_1 = f_1(C_1, C_2, \dots, C_n, R_1, R_2, \dots, R_k); \\ P_2 = f_2(C_1, C_2, \dots, C_n, R_1, R_2, \dots, R_k); \\ \dots; \\ P_n = f_n(C_1, C_2, \dots, C_n, R_1, R_2, \dots, R_k). \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} R_1 = \varphi_1(P_1, P_2, \dots, P_m); \\ R_2 = \varphi_2(P_1, P_2, \dots, P_m); \\ \dots; \\ R_k = \varphi_k(P_1, P_2, \dots, P_m). \end{cases} \quad (3)$$

Вираз (1) визначає маніпуляцію управління об'єктом, а функції  $F_1, F_2, \dots, F_n$  формують алгоритм управління. Вираз (2) є узагальненою математичною залежністю процедури контролю об'єкту, де функції  $f_1, f_2, \dots, f_n$  характеризують різні зовнішні прояви властивостей об'єкта. Вираз (3) дає можливість реалізувати задачу самоконтролю ЗОД, а функціональні залежності  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$  утворюють контрольні тести ЗОД.

Зазвичай сукупність допустимих значень  $C_1, C_2, \dots, C_n, P_1, P_2, \dots, P_m, R_1, R_2, \dots, R_k$  інтерпретується як багатовимірний простір у межах якого існування об'єкта і системи ЗОД має практичну цінність. В результаті аналізу математичного виразу зв'язків можлива раціональна побудова структури системи ЗОД, яка залежить від конкре-

тних умов задачі аналізу. Однак в загальному випадку, враховуючи вимоги до введення інформації в МП, вона повинна містити: перетворювачі первинної інформації (ППІ), блок перетворення аналогового сигналу ППІ в цифрові коди, цифрові і аналогові комутатори, обчислювальний пристрій, цифрові і аналогові канали зв'язку, блок перетворення цифрових сигналів в аналогові, цифрові реєструючі пристрої.

На рис. 2 показана структура, що реалізує принципи паралельної обробки аналогових сигналів, що надходять від перетворювачів ЗОД.

Дана структура дозволяє забезпечити максимальну продуктивність апаратури усіх каналів системи ЗОД і високу якість перетворення сигналів, як результат забезпечення необхідного рівня нормалізації сигналу на вході АЦП в кожному каналі. Незалежність окремих віток дає можливість просто реалізувати необхідні функції перетворення аналогових сигналів. Великою перевагою такої системи є усунення похибок, що виникають при комутаціях і вибірці зберігання аналогових сигналів, які вносять основний внесок в сумарну похибку перетворення. Дуже важливим є те, що ця структура дозволяє значно підвищити захист від перешкод на основі використання цифрових каналів передачі даних.

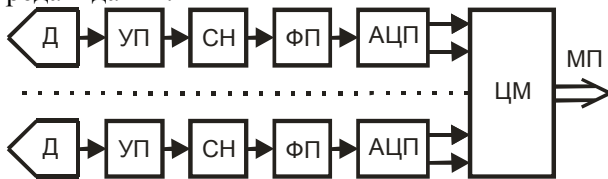


Рис. 2. Структура системи ЗОД з паралельними цифровими виходами:

Д - датчик; УП – узгоджуючий пристрій; СН – схема нормалізації; ФП - функціональний перетворювач; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; ЦМ - цифровий мультиплексор.

### Загальна структура системи захисту.

Загальна структура системи моніторингу електромагнітного стану фідера на думку авторів повинна складатися з двох частин [2]: висковольтного обчислювального пристрою (ВОП) і низьковольтного обчислювального пристрою (НОП).

Таке розділення необхідне для забезпечення безпеки оперативного персоналу, який працює з даною системою. ВОП повинна бути розміщена у чарунці швидкодіючого вимикача (ШВ) і єдиний вплив на нього ззовні є сигнали від НОП по каналам зв'язку.

ВОП виконує аналіз режиму роботи тягової мережі, використовуючи алгоритми відповідних видів захисту і виконує управління роботою ШВ на основі результатів цього аналізу. На

порт мікроконтролера також підводяться сигнали, які вказують стан схеми включення ШВ.

В роботі [3] було розглянуто метод виявлення режиму короткого замикання системи електричної тяги оснований на новій ознаці: швидкості спадання напруги на затискачах тягової підстанції. У якості датчика первинної інформації, що ввімкнений в «схему захисту» передбачено застосування шунта ([3] схема рис.6).

Як правило, цифрові пристрої, які виконують функції реле та автоматики мають внутрішній опір  $r_p \rightarrow \infty$  (рис. 3), тоді їх стала часу  $T_p = L_p / r_p \rightarrow 0$ . Тоді, в момент часу комутації короткого замикання системи тягового електропостачання отримаємо значення струму

$$i_p(t) \sim \frac{du_\phi}{dt}. \quad (1)$$

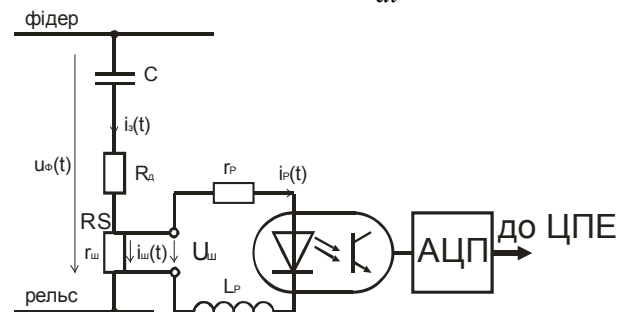


Рис. 3. Схема зняття струму з оптронам для гальванічної розв'язки

Оскільки, як у ізольованих датчиків (наприклад, LEM), так і шунтів, вихідний сигнал виступає як аналоговий – необхідно передбачити пристрій, який здійснював би перетворення даного аналогового сигналу в цифровий для можливості подальшого використання в МПС. В якості такого пристрою виступає аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Слід зауважити, що для коректного використання АЦП, насамперед, необхідно передбачити узгодження між аналоговим виходом вимірювального перетворювача і аналоговим входом вимірювального каналу АЦП, тобто застосувати УП (рис.2). В якості такого кола, можна використовувати підсилювач аналогового сигналу, оскільки потенційний рівень як у датчика, так і шунта – менше рівня аналогового входу вимірювального каналу АЦП.

### Вибір пристрою узгодження.

Функції підсилення сигналу, а також гальванічної розв'язки виконують оптрони з джерелами аналогових вимірюваних сигналів рис. 3 [4].

Основні вимоги до оптрона:

- повинен пропускати аналоговий сигнал з мінімальною затримкою;
- забезпечувати захист від напруги мінімум 5000 В.

Для опторозв'язки авторами обрано оптрон HCNW4562 фірми Avago [5], структурна схема, а також типове підключення даного оптрона в коло вимірювання аналогового сигналу показані відповідно на рис. 4 і 5. Аналоговий оптрон HCNW4562 забезпечує широку смугу пропускання сигналу з високою ізоляцією. Висока лінійність (нелінійність 0,15 %) і малий фазовий зсув досягається завдяки використанню AlGaAs світлодіодного випромінювача і високошвидкі-

сного фотодетектор. HCNW4562 доступний в корпусі DIP-8-400. Його характеристики [6]:

- ширина смуги пропускання складає 9МГц;
- найбільший коефіцієнт посилення напруги - 3;
- протягом однієї хвилини витримує напругу 5000В.

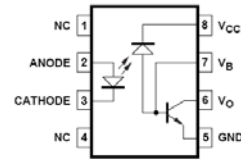


Рис. 4. Структурна схема оптрона

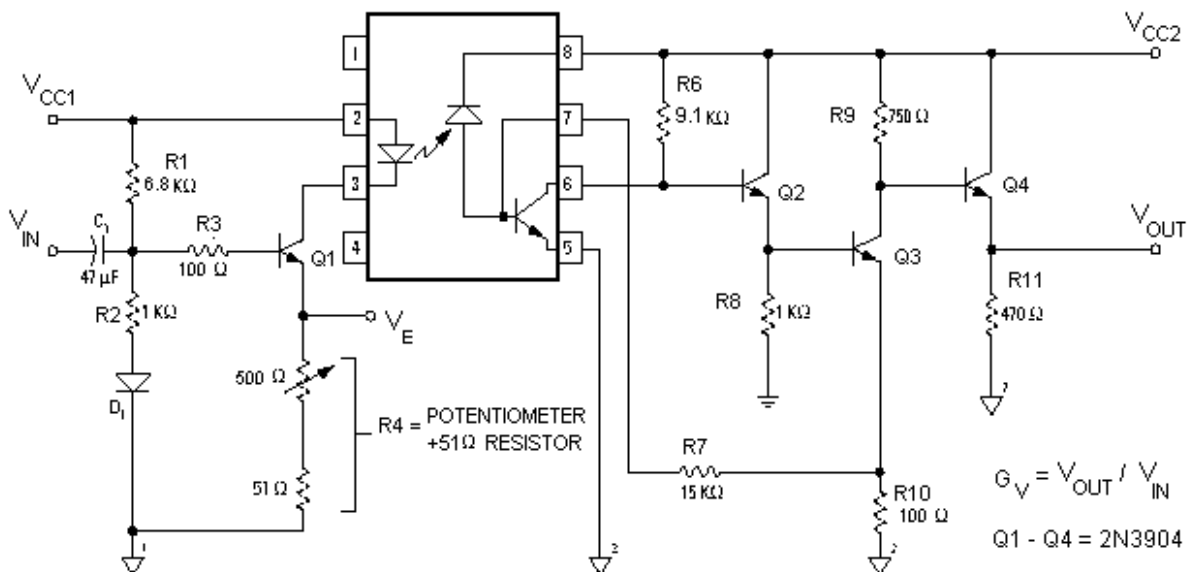


Рис. 5. Схема включення широкополосного оптрона для передачі аналогового сигналу

### Вибір аналого-цифрового перетворювача.

АЦП ВОП повинен володіти наступними характеристиками:

- висока роздільна здатність і добре відношення сигнал/шум, для точних вимірів сигналів невеликого значення;
- одночасна багатоканальна оцифровка;
- малий час перетворення, оскільки за 800 мкс за допомогою нього потрібно виконати 16 вимірів струму, включаючи час обробки кожної вимірної величини;
- повинен володіти мінімум 3-ма каналами, оскільки окрім струму необхідно також вимірювати значення напруги і аналогового нуля;
- має бути біполярним для можливості вимірювання струму двох напрямків;
- розрядність має бути не менше 12 розрядів для забезпечення точності вимірювання до 20 А при вимірюванні струму у межах -5000...5000 А з урахуванням того, що, як правило, значеннями двох молодших розрядів необхідно нехтувати;

- бажаною є наявність вбудованого в АЦП пристрою вибірки і зберігання для підвищення точності перетворення, оскільки при її відсутності всередині АЦП необхідно буде її робити самостійно;
- наявність паралельного 8-розрядного інтерфейсу.

Всім цим вимогам, наприклад, задовольняє АЦП AD7656 фірми Analog Device [5].

АЦП AD7656 виготовляють за технологією iCMOS, що дозволяє сполучити субмікронну технологію CMOS і біполярні технології. Технологія iCMOS дає можливість виготовляти широкий спектр високоякісних інтегральних мікросхем, призначених для застосування у високовольтних схемах. На відміну від аналогічних інтегральних мікросхем, зроблених за стандартною технологією CMOS, компоненти, створені за технологією iCMOS, можуть працювати із вхідними сигналами обох полярностей, забезпечуючи високі характеристики і

сприяючи значному зниженню енергоспоживання і розмірів пристрою.

Оскільки аналогова величина перетворюється в цифрову не миттєво, то на протязі вищезазначеного часу сигнал на вході АЦП повинен підтримуватися сталим, тому аналоговий вхід має пристрій вибірки-зберігання (Track-and-Hold (Т/Н) – стеження-зберігання). Сигнал на виході Т/Н пропорційний сигналу на вході до тих пір, доки не поступить команда запам'ятовування, після якої сигнал на виході залишається сталим до тих пір доки не буде виконано перетворення.

Більш детально технічні характеристики, а також опис роботи даної АЦП представлено в роботі [7].

Для забезпечення вимоги щодо періодичності вимірювання передбачено пристрій, який виконує функцію таймера для відліку необхідного інтервалу часу, а також передбачено можливість видачі даним пристроєм керуючого сигналу, який інформує центральний процесорний елемент (ЦПЕ) про закінчення відліку.

Налаштування основних параметрів функціонування в т.ч. кількість працюючих каналів і межі значення вхідної аналогової напруги, АЦП виконувати конфігурацією його ніжок, або програмно за допомогою 8-розрядного регістра настроювання. У проектованій авторами системі використовується програмне настроювання.

#### **Алгоритм роботи АЦП.**

У даному обробнику виконується зчитування даних результату перетворення. Для здобуття поточне значення струму  $I_{ТЕК} = i_p$  підряд знімаються його 16 значень. Кількість запусків АЦП для отримання  $I_{ТЕК}$ , з міркувань скорочення часу виконання програми, вибирається кратне ступеню двійки, щоб їх середнє можна було розрахувати шляхом логічного зсуву вліво. Так, при вибраних 16-ти зчитуваннях значень струму, їх середнє розраховується логічним зсувом вліво на чотири розряди. Слід зазначити, що розроблений алгоритм роботи АЦП дозволяє отримувати не тільки чисельні значення поточного струму в схемі захисту (рис. 3.). Багатоканальне АЦП використовується також для визначення струму та напруги фі-

дера, які необхідні для реалізації інших видів захисту: максимального струмового, захисту за приростом струму тощо. Алгоритм представлений на рис. 6.

**Блок 4:** виконується читання з АЦП значень струму, напруги і аналогового нуля для контролю правильності роботи АЦП.

**Блок 5:** виконується коректування набутого значення струму щодо аналогового нуля.

**Блок 6:** підраховуються суми зчитаних значень струму і напруги – Sum\_Ri і Sum\_Ru.

**Блок 7:** лічильник кількості зчитаних значень Amount\_Read зменшується на «1».

**Блок 8:** перевіряється, чи прочитані вже всі 16 значень для струму і напруги: якщо Amount\_Read відмінно від нуля, означає ще не отримано всіх значень і робиться перехід по вітці «ні» до виходу з обробника переривань; інакше виконується обробка отриманих сум струму і напруги Sum\_Ri і Sum\_Ru – перехід по вітці «так» до блоку 9.

**Блок 9:** розраховується середнє прочитаних значень струму та напруги Amount\_Read зсувом Sum\_Ri і Sum\_Ru управо на 4 розряди.

**Блоки 10-14:** підрахунок значення струму для аналізу по імпульсному алгоритму захисту. Отримане середнє значення струму записується в робочий масив.

**Блок 16:** Sum\_Ri і Sum\_Ru записуються в змінні  $I_{ТЕК}$ ,  $U_{ТЕК}$  для їх обробки у фоновій програмі та для передачі в НОП.

**Блок 17:** установка в «1» прапора Flag\_NewData указує фоновій програмі, що готове нове значення поточного струму для аналізу на КЗ.

**Блок 18:** якщо Flag\_control=«1» – зараз йде процес заповнення робочого масиву  $V_I^p$  після ручного включення системи. Оскільки процес цей займає декілька мілісекунд, то необхідно вести контроль за значенням струму тягової мережі по алгоритму максимального струмового захисту – блоки 21-32. Якщо Flag\_control=0, то проводиться підготовка до набуття наступних значень струму і напруги установкою змінних Sum\_Ri, Sum\_Ru і Amount\_Read в початковий стан.

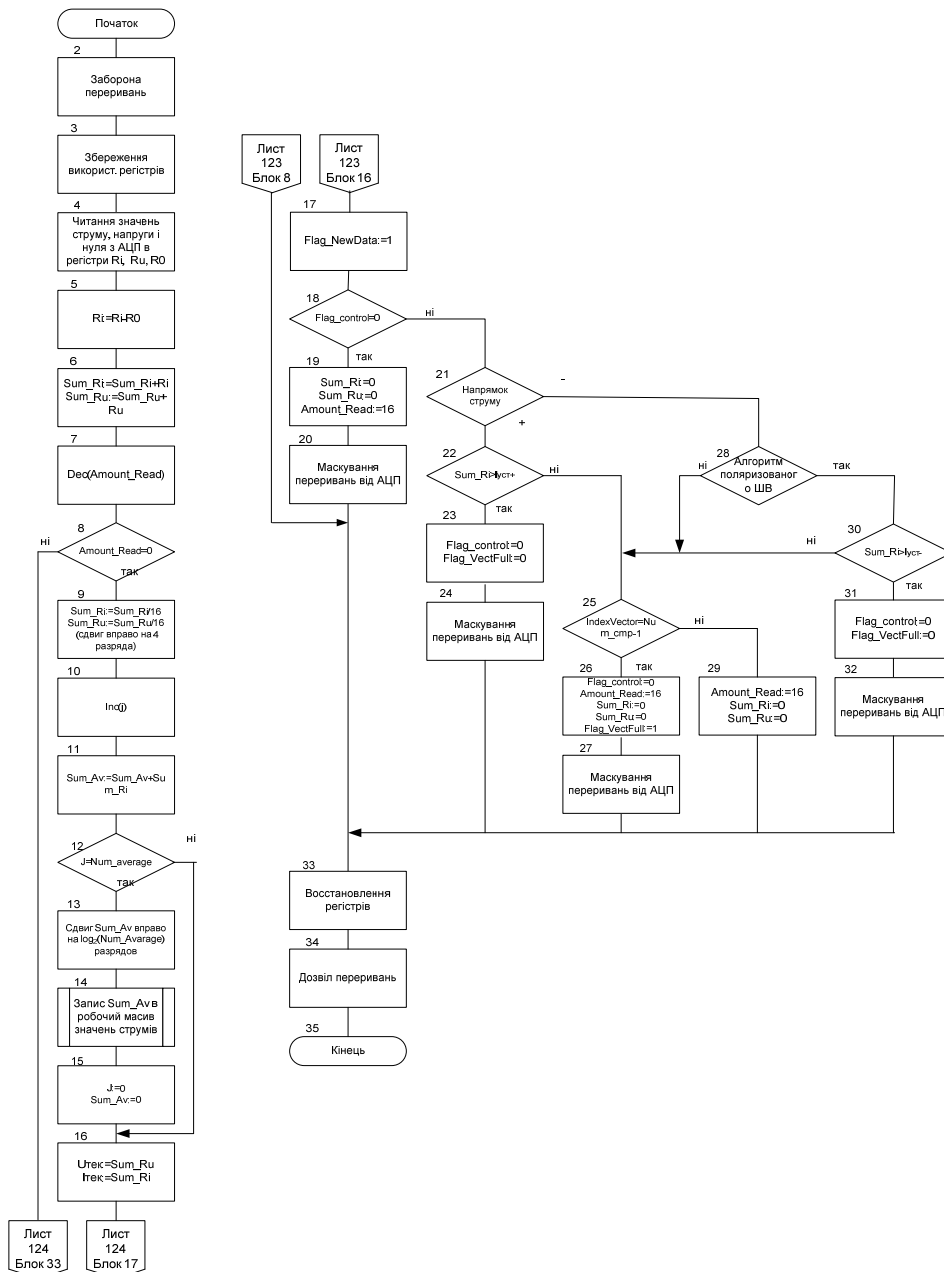


Рис. 6. Алгоритм обробки переривань від АЦП з додатковою перевіркою значення струму

**Блок 22:** при перевищенні значенням в  $Sum\_Ri$  значення уставки для позитивного напрямку струму, виконується скидання прапора  $Flag\_control$  в «0» і маскування переривань від АЦП для того, щоб фонові програми почали своє виконання і провели відключення ШВ. Аналогічно робиться і для випадку, коли перевищується значення уставки для негативного струму  $I_{уст-}$ , якщо використовується направлений алгоритм МКЗ3.

**Блоки 25-27:** перевіряється чи заповнені повністю робочі масиви. Якщо заповнені, то перехід по вітці «так» на блок 26, в якому скидається прапорець  $Flag\_control$ , проводиться підготовка до набуття наступних значень струму і напруги установкою змінних  $Sum\_Ri$ ,  $Sum\_Ru$  і  $Amount\_Read$  в початковий стан і

встановлюється прапорець  $Flag\_VectFull$  в «1», що показує, що робочі масиви заповнені повністю (тобто під час їх заповненню не сталося ніяких аварійних ситуацій). Для роботи фонові програми маскуються переривання від АЦП.

**Блок 31:** при негативному напрямі струму і направленому алгоритмі МКЗ3 окрім скидання прапора  $Flag\_control$  і маскування переривання від АЦП, виконується установка прапора  $Flag\_VectFull$  в «0» для нормальної роботи МКЗ3 по негативному струму.

#### Вибір мікроконтролера ВОП.

До мікроконтролера, що використовується у ВОП висуваються наступні вимоги:

– повинен мати 16-розрядне АЛУ, оскільки від АЦП надходять 16-розрядні коди значення

струму, напруги і аналогового нуля. Це дозволяє виконувати їх обробку набагато швидше, ніж на базі 8-розрядного мікроконтролера;

– бажаною є наявність в ньому двох УАПП для того, щоб не використовувати додаткову зовнішню БІС синхронно-асинхронного передавача. Як видно із структурної схеми, один УАПП використовується для зв'язку з НОП, другий для зв'язку з ПК;

– повинен володіти як можна меншим часом виконання команд. Ця вимога особлива важлива, оскільки даний мікроконтролер повинен забезпечувати мінімальний час реакції на аварійні режими роботи тягової мережі при аналізі по МКСЗ при виникненні близького короткого замикання;

– бажаною є наявність в ньому мінімум 3-х таймерів: один для відліку часу між запусками АЦП на перетворення, другий для завдання частоти передачі по УАПП, третій для вимірювання триваліших інтервалів, таких як інтервали часу перед АПВ, власні часи включення/відключення ШВ тощо.

– наявність великого об'єму флеш-пам'яті програм, оскільки в ній розміщуватиметься таблично задана захисна характеристика для алгоритму імпульсного захисту. Для однієї такої таблиці необхідно 16 Кбайт пам'яті;

– повинен підтримувати внутрішньосистемне програмування (ISP) для полегшення процесу перенастроювання даної таблиці;

– бажаний об'єм оперативної пам'яті не менше 512 байт.

Цим вимогам задовольняє мікроконтролер ХА-G49 фірми Philips [5].

Особливістю контролера ХА є досить гнучка система переривань. Він підтримує 38 джерел переривань і 8 рівнів пріоритету. Всі переривання діляться на 4 групи:

– переривання виключення – це внутрішньосистемні переривання, такі як ділення на нуль, переповнювання стека, скидання тощо;

– подієві переривання – переривання від пристроїв, таких як УАПП, таймери, зовнішні переривання. Є маскованими;

– програмні переривання – те ж саме, що і подієві (апаратні), але викликаються з програми;

– переривання перехоплювачі – зазвичай використовуються для виклику системних сервісів в багатофункціональних системах.

Якщо переривання має більший пріоритет, ніж програми, що виконується в даний момент, то виконуються наступні дії [8]:

– у стек зберігається значення лічильника команд, яке вказує на наступну виконувану команду і поточне значення слова стану PSW. Це так званий стековий кадр (stack frame).

– кожне переривання має свій вектор в таблиці векторів переривання, що складається з чотирьох байт: адреса програми обробника і нове значення регістра стану PSW. Це PSW визначає режим виконання обробника.

Важливо, щоб пріоритет запиту на переривання ніколи не перевищував пріоритету його обробника, оскільки це загрожує нескінченною вкладеністю переривання, оскільки обробник буде відразу після того як він отримає управління перерваний тим же самим прапором запиту, що приведе до переповнювання стека і, як наслідок, виникнення виключення. У його обробнику здійснюється перезавантаження системи.

В процесі роботи мікропроцесорної системи пріоритети змінюватимуться залежно від місця виконання програми, оскільки в деяких ситуаціях необхідно, щоб менш пріоритетне переривання могло перервати виконання обробника переривання з вищим пріоритетом.

Ситуації, в яких виникає необхідність зміни пріоритетів наступні:

– якщо ВОП отримує команду від НОП, то він зобов'язаний як можна швидше відповісти НОП підтвердженням. Тому після того, як ВОП отримає другий байт команди, він підвищує пріоритет запиту на переривання. Пріоритет повертається до початкового значення після отримання від НОП команди «Виконати»;

– при виконанні коду вимикання/вмикання ШВ в обробнику, необхідно, щоб його міг переривати таймер 1, який відраховує час власний час вимикання/вмикання ШВ (час, який необхідно витримувати перш, ніж знімати керуючі сигнали).

#### **Загальний опис алгоритму аналізу на коротке замикання за новою ознакою.**

Аналіз проводиться по аналогії з алгоритмах максимального струмового захисту. Програмна реалізація цього захисту проста: у певних елементах пам'яті містяться значення уставок  $I_{p\text{уст}}$ , яке згідно умови (1) буде відповідати критичному значенню швидкості спаду напруги на затискачах тягової підстанції  $\frac{du_{\phi}}{dt}$  («вітки захисту») в момент короткого замикання в тяговій мережі. Ці уставки порівнюватимуться із значенням поточного струму  $i_p$  (рис.3). Для його отримання проводиться підряд шістна-

дцять запусків АЦП з подальшим прочитанням результату перетворення і на базі цих шістнадцяти значень обчислюється їх середнє, яке надалі і використовуватиметься фоновою програмою як поточне значення струму  $i_p$  для проведення порівняння із уставками.

#### **Висновок**

Поглиблене вивчення перехідних електромагнітних процесів дозволяє встановити нові ознаки режимів роботи системи електричної тяги, як, наприклад, швидкості спаду напруги на затискачах тягової підстанції. Подальшою задачею інженера-електрика є лише технічна реалізація (спроєктувати та виготовити) системи захисту тягових підстанцій із застосуванням сучасної цифрової елементної бази, основану на цій ознаці.

#### **БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК**

1. Микропроцессоры. Средства сопряжения. Контролирующие и информационно-управляющие системы: учебн. для втузов [Текст] / за ред. Л.Н. Преснухина. – М.: Высш. школа, 1986. –383 с.
2. Михаліченко, П.Є. Мікропроцесорні системи захисту фідерів 3,3 кВ тягової підстанції постійного струму [Текст]/ П.Є. Михаліченко // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2009. – Вип. 83. – С. 66-71
3. Костін, М.О. Релейний мікропроцесорний захист системи тягового електропостачання, оснований на новому ознаку. 1. Теорія ро-

боти. [Текст]/ М.О. Костін, П.Є. Михаліченко // Вісник ДНУЗТ. – 2011. – Вип. 37. – С. 96-100

4. Электрические измерения. Средства и методы измерений (общий курс) / Под редакцией Е.Г.Шрамкова. – М.: Высшая школа, 1972. – С. 106–110.

5. Михаліченко, П.Є. Схемотехнічна база сучасних мікропроцесорних комплексів захисту фідерів тягової мережі залізниць України [Текст]/ П.Є. Михаліченко // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2009. – Вип. 84. – С. 58-63

6. HCPL-4562. HCNW4562. High Bandwidth, Analog/Video Optocouplers. <http://www.avagotech.com/assets/downloadDocument.do?id=1723&Source=SearchResultPage>.

7. AD7656\_7657\_7658\_6\_chan\_16\_bit. [http://www.analog.com/UploadedFiles/Data\\_Sheets/AD7656\\_7657\\_7658.pdf](http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/AD7656_7657_7658.pdf).

8. XA-G49. XA 16-bit microcontroller family. [http://www.nxp.com/acrobat\\_download/datasheets/XA-G49\\_5.pdf](http://www.nxp.com/acrobat_download/datasheets/XA-G49_5.pdf).

**Ключові слова:** коротке замикання; напруга фідера, швидкість зміни напруги.

**Ключевые слова:** короткое замыкание; напряжение фидера; скорость изменения фидера.

**Keywords:** short circuit; tension of fydera; speed of change of fydera.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ ПІДЗЕМНИХ МЕТАЛЕВИХ СПОРУД НА ЕЛЕКТРОЛІТИЧНІЙ МОДЕЛІ

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

### Вступ

В наш час світова громадськість вступила в якісно новий стан, одним з показників якого є глобальна інтенсифікація техногенних процесів, пов'язаних з розвитком різного роду комунікацій, процесів енергообміну. В зв'язку з цим в геометричній прогресії відбувається забруднення навколишнього середовища електромагнітним випромінюванням, що тягне за собою безповоротні зміни в біологічній, генетичній та соціальній структурах. Тому, електромагнітній сумісності суміжних пристроїв в наш час приділяється підвищена увага. Одним з аспектів електромагнітної сумісності є протикорозійний захист підземних металевих споруд.

### Процес корозії

Корозія металу – це процес природного руйнування, викликаний хімічною або електрохімічною дією зовнішнього середовища з послідовним окисненням металу та появою продуктів корозії.

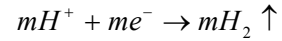
Розрізняють два види корозії: хімічну та електрохімічну. До першого виду відносять: газову корозію та корозію в неелектролітах. До другого: атмосферну, корозію в розчинах електроліту, корозію в розплавах солей, ґрунтову та електрокорозію (або корозію струмами витоку). Звичайно, електрокорозія супроводжується ґрунтовою корозією, хоча перша значно переважує над другою.

Процеси електрохімічної корозії протікають у водних розчинах. При контакті металева поверхня - розчин електроліту частки металу у вигляді гідратованих іонів намагаються перейти у розчин. В цьому випадку протікає два процеси:

- Перехід іонів з металу в розчин та утворення гідратованих іонів (окиснення або анодний процес);



- Та перехід цих іонів з розчину з виділенням їх на поверхні металу у вигляді нейтральних атомів (відновлення або катодний процес).



При цьому в металі з'являється еквівалентна кількість вільних електронів. Цей анодний процес називається само розчиненням металу. Йому відповідний катодний процес, який представляє собою асиміляцію, тобто утворення надлишкових електронів в металі будь-якими атомами, молекулами чи іонами розчину (деполяризаторами), що знаходяться поблизу поверхні металу.

Швидкості прямого та оберненого переходу в загальному випадку не однакові. Якщо розчинення металу протікає швидше, ніж його осадження, то метал по відношенню до електроліту заряджається негативно. В результаті швидкість розчинення металу знижується, а швидкість осадження – зростає.

На рис. 1 приведений розріз металевого трубопроводу з локальними порушеннями покриття, на прикладі якого можна пояснити протікання реакцій на поверхні металу при контакті з розчином електроліту, що проникає через дефекти в ізоляції. Іони металу (катіони)  $Me^+$ , що переходять з анодних ділянок в розчин, залишають в металі електрони, які утворюють електродний потенціал, яким для кожного даного металу приблизно характеризується прагнення металу перейти в іонний стан.

З розчину до поверхні металу рухаються іони, молекули, атоми, що виконують функції деполіаризаторів та відбираючи надлишкові електрони з катодних ділянок металу.

В залежності від конкретних умов можуть протікати і інші катодні реакції деполіаризації.

В більшості випадків протікання електрохімічної корозії характеризується локалізацією анодного та катодного процесів на різних ділянках поверхні металу, які відрізняються своїми електродними потенціалами. Ці ділянки з'єднані між собою шаром металу, занурені в розчин електроліту та утворюють замкнуте електричне коло.

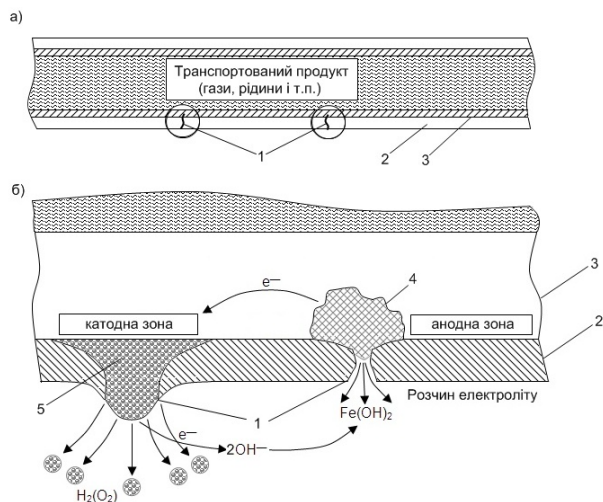


Рис. 1. Розріз металевий трубопроводу (а); схема, що пояснює процес корозійного руйнування металевий трубопроводу (б): 1 – зона дефекту в ізоляції; 2 – ізоляція; 3 – металевий трубопровід; 4 – продукти корозії металу; 5 – бульбашки газів ( $H_2, O_2$ )

Анодний струм викликає корозійні руйнування в місцях його переходу з металу в розчин. На катодних ділянках такого процесу не має, а на поверхні металу відбувається процес деполізації з вивільненням газів ( $H_2, O_2$ ), які викликають відшарування (порушення адгезії) та розриви ізоляційного покриву металевих підземних споруд. На поверхні металу утворюються корозійні пари, які можуть бути різними – від неявно виражених (мікропари) до розрізшихся в анодні та катодні зони на споруді (макропари).

Корозійні пари утворюються як гальванічні елементи – в результаті різниці потенціалів окремих ділянок металу, що знаходиться в електроліті. Звідси можна стверджувати, що причиною утворення корозійних пар є неоднорідності, які містяться як у самому металі, так і у зовнішньому середовищі. Ці неоднорідності являються причиною того, що окремі ділянки металу, які занурено в електроліт, здобувають різні потенціали. Утворюються анодні та катодні зони.

Найбільшу небезпеку для металевих підземних споруд (м.п.с.) представляє електрокорозія, при якій струми витоку значно більші, ніж при ґрунтовій корозії, що призводить до більш інтенсивного корозійного руйнування споруд.

### Критерії корозійної небезпеки

Для забезпечення протикорозійного захисту підземних металевих споруд необхідно здійснювати катодну поляризацію постійним струмом, що протікає з ґрунту в споруду під дією

прикладеної різниці потенціалів «ґрунт – споруда». В цьому випадку споруда по відношенню до оточуючого її ґрунту являється катодом. В місцях доторкування металевий поверхні з ґрунтом струм втікає в споруду, тим самим захищаючи її від корозії. Причому, максимальний потенціал споруди по відношенню до ґрунту має бути не більше ніж  $-0,87$  В (за мідно-сульфатним електродом порівняння), а мінімальний – не менше  $-1,95$  В (з урахуванням омичної складової втрати напруги в шарі «ґрунт – споруда»). При зменшенні потенціалу «споруда – ґрунт» порушується зв'язок ізоляційного покриття з металом за рахунок відшарування ізоляції (порушення адгезії).

### Електрокорозія (корозія стунами витоку)

В анодній зоні на м.п.с. блукаючі струми стікають в ґрунт (рис. 2) та викликають електрохімічні корозійні руйнування споруди.

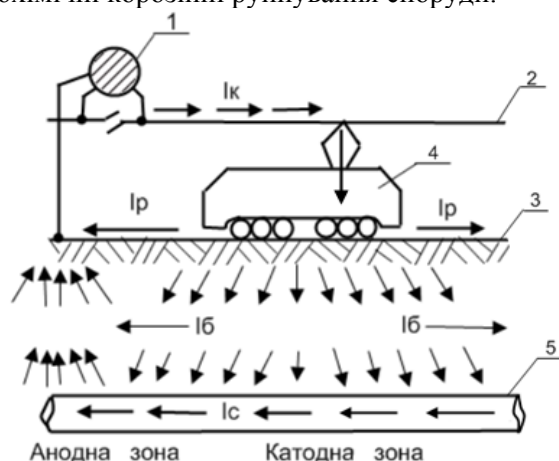


Рис. 2. Схема протікання тягових струмів та розміщення потенціальних зон на підземній металевій споруді: 1 – тягова підстанція; 2 – контактна підвіска; 3 – рейкова мережа; 4 – електрорухомий склад; 5 – металевий підземний споруда

Для усунення небезпечної дії блукаючих струмів необхідно виконати наступні заходи:

а) питомий перехідний опір від рейки до землі для одноколійної ділянки має складати не менше ніж  $0,25$  Ом·км;

б) для зменшення витоку тягових струмів з локальних ділянок рейок (тунелі, депо, станційні колії) рекомендується застосовувати вентильне секціонування рейкових колій;

в) суміжні споруди та конструкції, які мають електричне з'єднання з рейками повинні бути ізольовані від землі;

г) для зменшення поздовжнього опору рейок необхідно застосовувати безстикові колії, а при наявності збірних неізольованих стиків їх опір не повинен перевищувати: при довжині рейок  $12,5$  м – 3 м цілої рейки, при довжині рейки

25 м – 6 м цілої рейки;

д) необхідно застосовувати між колійні з'єднувачі;

е) в межах великих міст з розвинутою мережею м.п.с. рекомендується зменшувати відстань між тяговими підстанціями.

### Протикорозійні захисти

Повністю позбутися блукаючих струмів в реальних умовах неможливо. В зв'язку з цим забезпечення протикорозійного захисту м.п.с. поряд з обмеженням струмів витоку на їх джерелах потрібно застосовувати пасивні та активні методи захисту.

Для пасивного захисту м.п.с. проводять наступні заходи:

а) вибір раціональної траси прокладки споруди;

б) нанесення підсиленого протикорозійного покриття;

в) прокладка м.п.с. в ізолюючій каналізації;

г) наявність у споруд, що захищаються, електричної ізоляції від споруд та конструкцій, які мають електричне з'єднання з рейковою мережею;

д) пристрої поздовжнього електричного секціонування м.п.с., яке виконується для трубопроводів ізолюючими фланцями, а для кабелів – ізолюючими муфтами;

е) заземлення м.п.с., що має якісне протикорозійне покриття.

Активний захист м.п.с. поділяється на електродренажний, катодний та протекторний. Основними різновидами електродренажу є поляризований, уніфікований та підсилений дренажі.

### Опис електролітичної моделі

На стадії проектування та дослідження нових методів протикорозійного захисту підземних споруд можна використовувати фізичне моделювання. Для цієї мети було використано електролітичну модель, яка дозволила якісно та кількісно оцінити ефективність протикорозійного захисту підземних споруд. В лабораторії електромагнітної сумісності ДИИТу побудована електролітична модель. Вона представляє собою металеву ванну, заповнену електролітом, в яку занурені фізичні моделі тягової рейкової мережі та металевих підземних споруд. На цій моделі були проведені дослідження ефективності електродренажного захисту металевих підземних споруд.

Схема заміщення електролітичної моделі приведена на рис. 3.

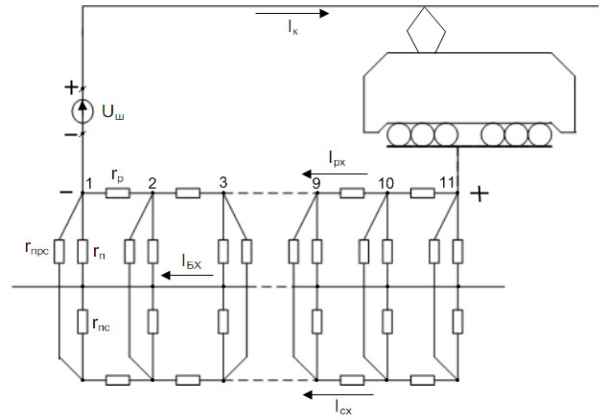


Рис. 3. Схема заміщення електролітичної моделі.

### Результати вимірів

В результаті були отримані значення потенціалів рейки, виміряних по відношенню до «далекої землі» (рис. 4,а), та значення потенціалів споруди, виміряних по відношенню до сталевого електроду порівняння (СЕР) (рис. 4,б криві 2 та 5) та мідно-сульфатного (МСЕР) (рис. 4,б криві 3 та 6):

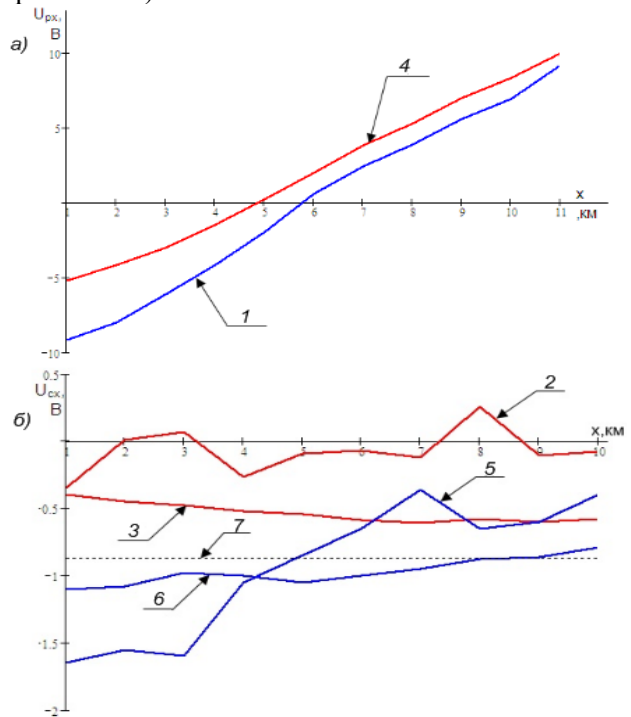


Рис. 4. Криві потенціалів рейки (а) та споруди (б) до (криві 1, 2, 3) і після (криві 4, 5, 6) ввімкнення електродренажу; 7 – максимальний потенціал споруди (-0,87 В)

Як бачимо, отримані криві за СЕР (рис. 4,б, криві 2 та 5) не відображають фізичного смислу протікаючих процесів. Причини цьому можна пояснити за допомогою рис. 5, який представлено нижче.

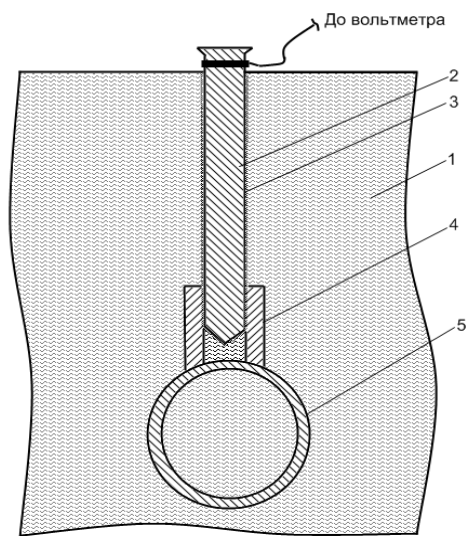


Рис. 5. Сталевий електрод порівняння:  
1 – розчин електроліту; 2 – СЕП; 3 – шар ржі на поверхні СЕП; 4 – ізолююча трубка; 5 – споруда

З цього рисунка видно, що поверхня електроду покрита шаром ржі. Це вносить значну похибку в вимірювання. Також те, що сталевий електрод не має стаціонарного потенціалу, то на розділі електрод – електроліт можуть протікати різні процеси, які залежать від хімічного складу самого електроліту та інших факторів.

На основі приведених вище аргументів можна зробити висновок, що використання сталевих електродів порівняння дає невірні результати, що призводить до неможливості дослідження корозійних процесів.

Для отримання достовірних даних потрібно використовувати мідно-сульфатний електрод порівняння, що не поляризується (рис. 6).

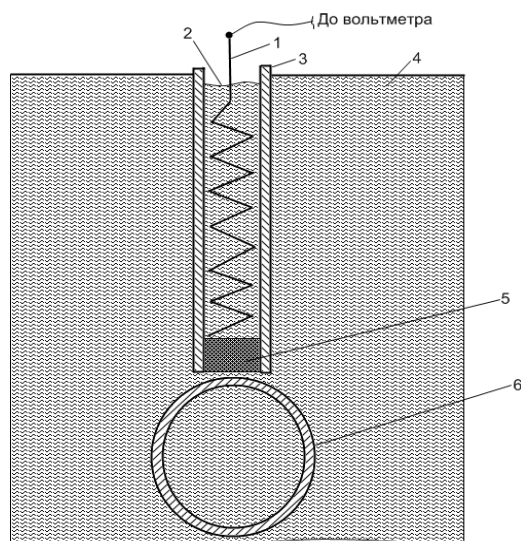


Рис. 6. Мідно-сульфатний електрод порівняння:  
1 – мідний дріт; 2 – мідний купорос ( $CuSO_4$ ); 3 – пластмасова трубка; 4 – розчин електроліту в ванні; 5 – пористий матеріал; 6 – споруда

Перевагою цього типу електроду є те, що він має стаціонарний потенціал, величина якого відома і визначається різницею потенціалів на границі розділу мідний провідник – мідний купорос.

Схема вимірювання потенціалів споруди за допомогою мідно-сульфатного електроду порівняння приведена на рис. 7.

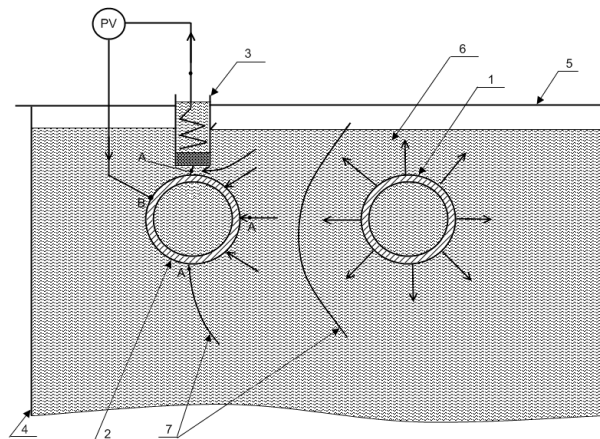


Рис. 7. Схема вимірювання потенціалу споруди:  
1 – рейка; 2 – споруда; 3 – МСЕП; 4 – корпус ванни;  
5 – верхня кришка ванни; 6 – розчин електроліту;  
7 – еквіпотенціальні лінії

Стікаючи з рейки струми створюють різницю потенціалів в електроліті. Струм протікає по ланцюгам: рейка – розчин електроліту – (точка А) – споруда (точка В); рейка – розчин електроліту – (точка А) – мідний купорос – мідний провідник – вольтметр – споруда (точка В). Схема заміщення цього ланцюга представлена на рис. 8.

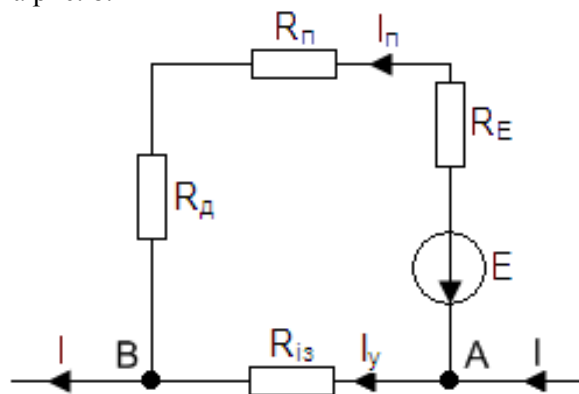


Рис. 8. Схема заміщення ланцюга протікання струму:  $R_d$  – опір дренажних з'єднань;  $R_{is}$  – опір ізоляції з дефектами з урахуванням поляризаційної складової;  $R_n$  – внутрішній опір вимірювального приладу;  $R_E$  – опір розтіканню мідно-сульфатного електроду порівняння;  $E$  – Е.Р.С. мідно-сульфатного електроду порівняння ( $E = -0,55B$ );  $I_y$  – струм витoku;  $I_n$  – струм, що протікає через вимірювальний прилад

З рис. 7 видно, що електрод порівняння знаходиться на еквіпотенціальній лінії, тобто по-

тенціал буде вимірюватися безпосередньо між спорудою та прилягаючим електролітом.

Виходячи з вище приведених міркувань, мідно-сульфатний електрод порівняння було розміщено над спорудою (рис. 7). В результаті вимірювань, були отримані наступні криві потенціалів споруди, які показані на рис. 4,б криві 3 та 6.

### **Висновок**

Аналізуючи приведені вище криві (рис. 4,б криві 3 та 6) можна сказати, що вони цілком відображають фізичні процеси, які протікають на підземній металевій споруді.

Проведені дослідження ефективності електродренажного захисту підземної металевої споруди в лабораторних умовах показали адекватність моделі реальним умовам гальванічного впливу тягової мережі постійного струму на суміжні споруди.

Використання мідно-сульфатних електродів порівняння, що не поляризуються, дозволить

студентам набути навичок вимірювання потенціалів підземних металевих споруд.

### **БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК**

1. Система газопостачання. Газопроводи підземні сталеві. Загальні вимоги до захисту від корозії: ДСТУ Б В.2.5-29:2006. – [Чинний від 2006-12-22]. – К. Мінбуд України, 2006.-120с.-(Національні стандарти України).

2. Семенова И.В. Коррозия и защита от коррозии [Текст]/ И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002, - 336с.

**Ключові слова:** протикорозійний захист, підземні споруди, електролітична модель.

**Ключевые слова:** противокоррозионная защита, подземные сооружения, электролитическая модель.

**Keywords:** anticorrosive protection, underground installations, electrolytic model.

## МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СТАТИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ТЯГОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРОВОЗУ

*Представив д.т.н., професор Дубинець Л.В.*

### Вступ

Статичні перетворювачі рухомого складу призначені для керування їх тяговими електродвигунами: регулювання швидкості, переходу від режиму тяги до електричного гальмування та безконтактної зміни напрямку руху – реверса [1]. У даний час статичні перетворювачі виконують на основі напівпровідникових приладів [2].

Головна перевага напівпровідникових статичних перетворювачів полягає в тому, що вони дозволяють змінювати усі основні параметри електричної енергії: частоту, напругу, число фаз і гармонічний склад. При цьому забезпечуються високий ККД, невеликі розміри та висока надійність у зв'язку з відсутністю рухомих частин і механічних контактів.

Тому ці перетворювачі найбільшою мірою задовольняють численні та часто важко здійснювані вимоги, що ставляться до пристроїв керування потоком електричної енергії тягових електропроводів.

Проте статичні перетворювачі мають ряд недоліків:

1) оскільки напівпровідникові прилади є відносно новими технічними приладами, деякі з них досить дорогі, а також немає достатнього досвіду застосування їх на тяговому рухомому складі;

2) статичні перетворювачі дають підвищений рівень електромагнітних перешкод в тягових мережах, що ускладнює роботу пристроїв зв'язку, сигналізації та систем керування.

У традиційній структурі приводу з двигунами постійного струму перетворювачі використовують на заміну реостатних контролерів, що дозволяє одержати плавність регулювання швидкості, уникнути втрат енергії в реостатах та забезпечити ефективне рекуперативне гальмування з поверненням енергії руху поїзда до джерела живлення.

Переваги перетворювачів реалізуються при цьому лише частково. Більш важливою є можливість створити значно ефективніший привод змінного струму на базі асинхронних двигунів. Це дозволяє приєднати до переваг перетворювачів також переваги дешевшого та надійнішого

го асинхронного двигуна. Створити такий тяговий привод без статичних перетворювачів не вдалося через труднощі регулювання швидкості асинхронного двигуна при збереженні високого моменту на валу.

Застосовуючи статичні перетворювачі виникає можливість переходу до гнучких технологічних процесів у системі тягового електропостачання і на ЕРС із застосуванням багатофункціональних програмувальних контролерів і ПЕОМ для досягнення енергоекономічних систем електричної тяги з оптимальним електроспоживанням при забезпеченні заданої пропускної і провзної здібностей на електрифікованих ділянках залізниць, а також на метрополітені та міському електротранспорті.

Щоправда, створення нових статичних перетворювачів для перспективного багатосистемного рухомого складу достатньо складний процес. Складність його обумовлюється великою потужністю перетворювача і виходячою з цього довготривалістю виготовлення, налагодження і випробування макета [3,4].

Дослідження і розробка статичних перетворювачів значно полегшується із застосуванням прийомів математичного моделювання.

Одним із головних напрямків дослідження статичного перетворювача є вивчення перехідних процесів, що мають місце в колах перетворювача.

### Мета роботи

Дана робота присвячена створенню математичної моделі тягової електропередачі багатосистемного електровоза, що дозволяє досліджувати будь-які електромагнітні процеси в колах перетворювачів та оцінювати якість перехідних процесів з метою розробки рекомендацій з покращення динамічних властивостей перетворювача.

### Матеріал і результати дослідження

Статичні перетворювачі, як правило, будуються за типовою структурною схемою, що наведена на рис. 1.

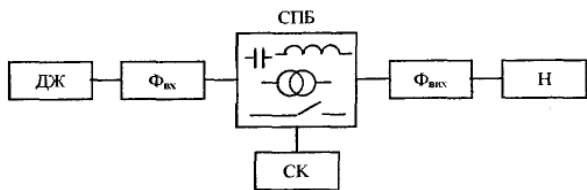


Рис. 1. Структурна схема статичного перетворювача:  
 ДЖ – джерело живлення,  $\Phi_{вх}$  – вхідний фільтр,  
 СПБ – силовий перетворювальний блок,  $\Phi_{вих}$  – вихідний фільтр, Н – навантаження,  
 СК – система керування

Головним вузлом будь-якого напівпровідникового перетворювача є силовий перетворювальний блок, який виконує основну функцію з перетворення параметрів електричної енергії шляхом періодичних перемикань (комутації). Для цього в ньому містяться силові напівпровідникові ключі (СНК) як основні елементи, а також, можливо, трансформатори і фільтри проміжних величин [2].

СНК виконує елементарну функцію періодичного замикання та розмикання електричного кола. Ключі СПБ звичайно поєднуються у комутатори. Конструктивно комутатор може виконуватися як сукупність дискретних СНК, так і у вигляді сигової інтегральної схеми.

Ключовий режим роботи силових напівпровідникових приладів у СНК дозволяє одержати високий ККД, тому що у ввімкненому стані наближається до нуля напруга на ключі, а у вимкненому — струм ключа, і тому маємо малу потужність втрат, оскільки вона є добутком цих величин.

Система керування задає тривалість інтервалів часу, коли ключі силового перетворювального блоку ввімкнені та вимкнені. Оскільки ключі комутатора діють шляхом перемикань, то напруги і струми на вході та виході СПБ мають форму імпульсів з великим вмістом гармонічних складових. Тому їх зазвичай послаблюють за допомогою вхідного і вихідного фільтрів.

Блоки верхнього ряду структурної схеми на рис. 1.1 утворюють силову схему перетворювача. Блоки, які примикають до входу СПБ (джерело живлення та вхідний фільтр), створюють вхідне коло. Блоки, які примикають до виходу СПБ (вихідний фільтр та навантаження), створюють вихідне коло.

Статичний перетворювач тягового приводу електровозу складається із мережевого контуру і тягового контуру. Узгодження параметрів мережевого і тягового контурів виконується застосуванням трифазного трансформатора, що працює на підвищеній частоті. До складу мережевого контуру входить випрямляч, і автономний інвертор, система керування якого пра-

цює за законами широтно-імпульсної модуляції. Тяговий контур являє собою вихідний перетворювач і тяговий двигун. Під вихідним перетворювачем розуміємо керований випрямляч або пару «керований випрямляч – автономний інвертор». Тип вихідного перетворювача обирається в залежності від типу тягового двигуна. Для тягового двигуна постійного струму застосовують керовані випрямлячі, а для АТД – названу пару.

Випрямлячі призначені для перетворення змінного струму у постійний. У тязі їх використовують при живленні від контактних мереж змінного струму частотою 50 або  $16\frac{2}{3}$  Гц на магістральних електровозах та електропоїздах приміського сполучення, а також у системі електричної передачі на транспортних засобах з первинним тепловим двигуном, наприклад тепловозах. В останньому випадку електрична передача містить синхронний генератор змінного струму як джерело живлення випрямляча. В обох випадках випрямляч використовується для перетворення змінного струму у постійний і регулювання вихідної напруги, а при живленні від контактної мережі також для можливого повернення енергії до цієї мережі при рекупераційному гальмуванні двигунів [2,4].

Наведемо принципову схему тягового випрямляча на рис.2 як одного із підблоків статичного перетворювача, що розглядається.

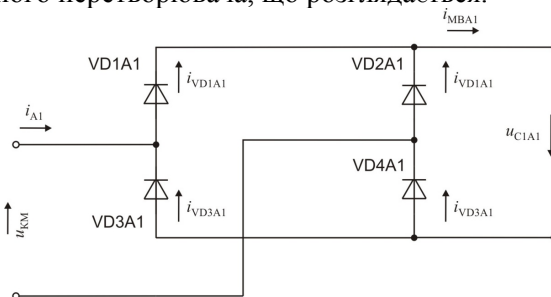


Рис. 2. Принципова схема тягового випрямляча

Робота даної схеми в усталених та перехідних режимах роботи описується диференціальними рівняннями, які складені на підставі законів Кірхгофа [4].

Для даної схеми можливі два варіанти обходу: прямий і зворотній. Для прямого напрямку обходу за II законом Кірхгофа матимемо:

$$u_{км} = L_{км} \cdot \frac{di_{A1}}{dt} + R_{км} \cdot i_{A1} + 2R_{VD1A1} (i_{VD1A1}) \cdot i_{VD1A1} + Z_H \cdot i_{MBA1} \quad (1)$$

Розглянемо зворотній напрямок обходу. Для цього випадку аналогічно матимемо:

$$u_{KM} = L_{KM} \cdot \frac{di_{A1}}{dt} + R_{KM} \cdot i_{A1} + 2R_{VD3A1}(i_{VD3A1}) \cdot i_{VD3A1} + Z_H \cdot i_{MBA1} \quad (2)$$

Розглянемо контур комутації. При прямому напрямку матиме місце рівняння:

$$u_{KM} = L_{KM} \cdot \frac{di_{A1}}{dt} + R_{KM} \cdot i_{A1} + R_{VD1A1}(i_{VD1A1}) \cdot i_{VD1A1} - R_{VD2A1}(i_{VD2A1}) \cdot i_{VD2A1} \quad (3)$$

При зворотньому напрямку матиме місце наступне рівняння:

$$u_{KM} = L_{KM} \cdot \frac{di_{A1}}{dt} + R_{KM} \cdot i_{A1} - R_{VD1A1}(i_{VD1A1}) \cdot i_{VD1A1} + R_{VD2A1}(i_{VD2A1}) \cdot i_{VD2A1} \quad (4)$$

Для всіх вузлів схеми заміщення запишемо рівняння, що складені за першим рівнянням Кірхгофа:

$$i_{A1} + i_{VD3A1} - i_{VD1A1} = 0 \quad (5)$$

$$i_{VD4A1} - i_{VD2A1} - i_{A1} = 0 \quad (6)$$

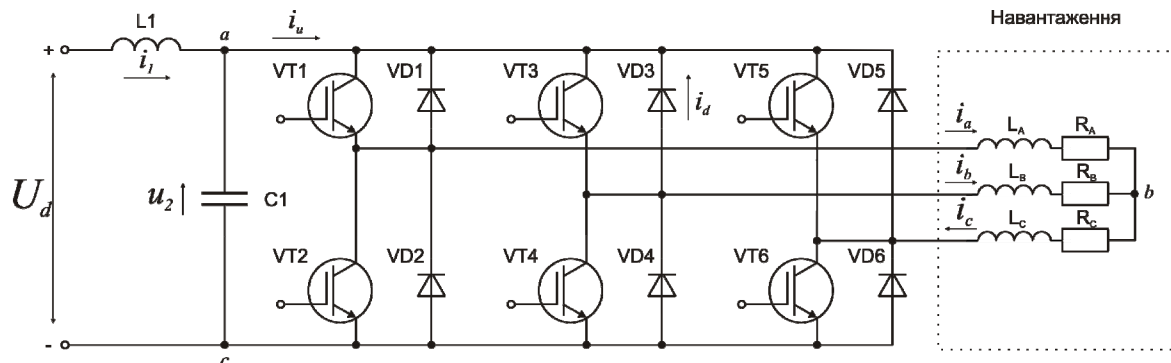


Рис. 3. Принципова схема автономного інвертора.

Для контуру навантаження за другим законом Кірхгофа матимемо:

$$u_{AB} = \frac{di_a}{dt} \cdot L_a + i_a \cdot R_a - \frac{di_b}{dt} \cdot L_b - i_b \cdot R_b \quad (11)$$

$$u_{AC} = \frac{di_a}{dt} \cdot L_a + i_a \cdot R_a + \frac{di_c}{dt} \cdot L_c + i_c \cdot R_c \quad (12)$$

$$i_{VD1A1} + i_{VD2A1} - i_{MBA1} = 0 \quad (7)$$

$$i_{MBA1} - i_{VD4A1} - i_{VD3A1} = 0 \quad (8)$$

В основу математичної моделі автономного інвертора покладено систему диференціальних рівнянь, що описує його роботу.

Принципову схему автономного інвертора наведено на рис 3.

Користуючись законами Кірхгофа та електромагнітної індукції опишемо електромагнітні процеси в інверторі напруги.

За першим законом Кірхгофа для точки *a* маємо:

$$C_2 \cdot \frac{du_2}{dt} + i_1 - i_H + i_d = 0 \quad (9)$$

Виразимо струм *i<sub>H</sub>* через фазні струми двигуна отримаємо:

$$C_2 \cdot \frac{du_2}{dt} + i_1 - i_a(F_2 + F_5) - i_b(F_1 + F_4) - i_c(F_3 + F_6) + i_d = 0 \quad (10)$$

Враховуючи зв'язок лінійних напруг з напругою *U<sub>d</sub>* на виході випрямляча через тиристри прямого мосту:

$$u_{AB} = U_d \cdot (F_1 + F_6 - F_3 - F_4) \quad (13)$$

$$u_{AC} = U_d \cdot (F_2 + F_1 - F_4 - F_5) \quad (14)$$

У цих виразах коефіцієнти *F<sub>1</sub>, ..., F<sub>6</sub>* - перемикаючі функції, якими описується робота вентильних ключів. Часова діаграма, якою описується стан ключів в інверторі протягом будь-якого моменту часу показана на рис. 4.

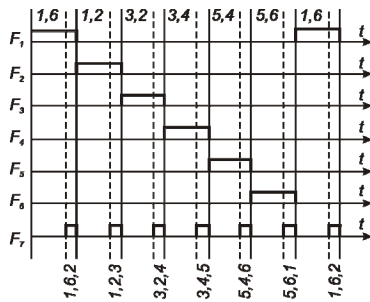


Рис. 4. Часова діаграма перемикаючої функції

Керований випрямляч за своєю конструкцією подібний до некерованого [4]. Він призначений для перетворення змінного струму на постійний і плавного регулювання значення величини напруги для керування тяговим електроприводом постійного струму на базі колекторного двигуна. Принципова електрична схема трифазного керованого випрямляча представлена на рис.5.

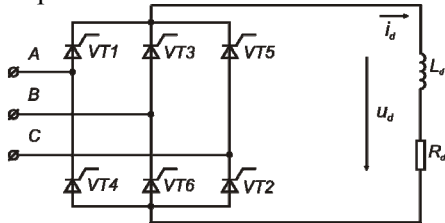


Рис. 5. Принципова схема керованого трифазного випрямляча

Запишемо диференціальні рівняння, що описують роботу перетворювача. По другому закону Кірхгофа для контура джерело – навантаження маємо рівняння.

$$\begin{aligned} (L_d + 2L_a) \cdot \frac{di_d}{dt} + R_d i_d - F_7 L_a \frac{di_k}{dt} = \\ = (F_1 - F_4)u_1 + (F_3 - F_6)u_2 + \\ + (F_5 - F_2)u_3 \end{aligned} \quad (15)$$

Струм  $i_k$  визначається виразом другого закону Кірхгофа для контура комутації.

$$\begin{aligned} 2L_a \frac{di_k}{dt} = \\ = F_7 \left[ (F_5 - F_2)u_1 + (F_1 - F_4)u_2 + \right. \\ \left. + (F_3 - F_6)u_3 + L_a \frac{di_d}{dt} \right] \end{aligned} \quad (16)$$

В інтервалах комутації враховуємо також е.р.с. самоіндукції, яка наводиться струмом  $i_k$ .

$$\begin{aligned} u_d = (F_1 - F_4)u_1 + (F_3 - F_6)u_2 + \\ + (F_5 - F_2)u_3 - 2L_a \frac{di_d}{dt} + F_7 L_a \frac{di_k}{dt} \end{aligned} \quad (17)$$

Також вихідна напруга залежить від кута регулювання тиристорів  $\alpha$ .

$$\begin{aligned} u_{d\alpha} = u_{d0} \left( \frac{\cos \alpha}{2} + \frac{1}{2} \left( \cos \alpha - \frac{2i_d \omega L_a}{\sqrt{6} E_2} \right) \right) = \\ = u_{d0} \cos \alpha - \frac{3i_d \omega L_a}{\pi} \end{aligned} \quad (18)$$

$F_1 - F_7$  – перемикаючі функції. Вони набувають значення «1» та «0», тим самим характеризують стан силового ключа в певний момент часу (див. рис. 4.).

Традиційно для дослідження властивостей та визначення параметрів трансформаторів використовуються схеми заміщення. Найбільш поширеною є Т-образна схема заміщення трансформатора. Однофазний трансформатор складається з двох обмоток, які розташовані на магнітопроводі. Первинна обмотка підключається до джерела напруги, а вторинна до навантаження (рис.6) [5,6].

На рис. 6 прийняті наступні позначення:  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $L_1$ ,  $L_2$  - активний опір та індуктивність первинної та вторинної обмоток відповідно;  $M$  - коефіцієнт взаємної індукції;  $Z_n$  - опір навантаження.

За схемою на рис. 6 складемо наступні рівняння [6]:

$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} \quad (19)$$

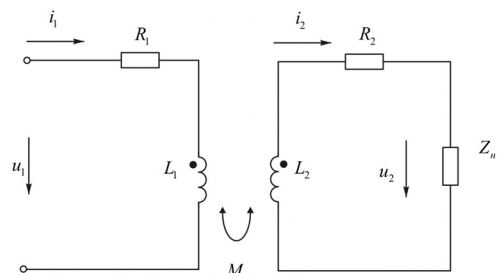


Рис. 6. Схема однофазного двообмоткового трансформатора

Для спрощення виконаємо перехід до приведенного трансформатора та представимо рівняння у вигляді:

$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - nM \frac{di_2}{dt} \frac{1}{n} \quad (20)$$

$$0 = n^2 R_2 \frac{i_2}{n^2} + n^2 L_2 \frac{di_2}{dt} - nM \frac{di_1}{dt} + nu_2 \quad (21)$$

де  $n = \frac{w_1}{w_2}$  - коефіцієнт трансформації;  $\frac{i_2}{n} = i'_2$

;  $u_2 n = u'_2$ ;  $R_2 n^2 = R'_2$ ;  $L_2 n^2 = L'_2$  - параметри трансформатора приведені до первинної обмотки.

Тоді отримаємо:

$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - nM \frac{di'_2}{dt} \quad (22)$$

$$0 = R'_2 i'_2 + L'_2 \frac{di'_2}{dt} - nM \frac{di_1}{dt} + u'_2 \quad (23)$$

Додамо до рівняння (22) добуток  $nM \frac{di_1}{dt} - nM \frac{di_1}{dt}$ , а до (23) добуток  $nM \frac{di'_2}{dt} - nM \frac{di'_2}{dt}$ , отримаємо:

$$u_1 = R_1 i_1 + (L_1 - nM) \frac{di_1}{dt} - nM \frac{d}{dt} (i_1 - i'_2) \quad (24)$$

$$0 = R'_2 i'_2 + (L'_2 - nM) \frac{di'_2}{dt} - nM \frac{d}{dt} (i_1 - i'_2) + u'_2 \quad (25)$$

Величина  $L_1 - nM = L_{S1}$  має назву індуктивність розсіювання первинної обмотки;  $L'_2 - nM = L'_{S2}$  - індуктивність розсіювання приведена до первинної обмотки;  $nM = L_1 - L_{S1} = L_{1n}$  - індуктивність первинної обмотки, яка обумовлена основним магнітним потоком. Еквівалентна схема трансформатора (Т- подібна схема заміщення), яка відповідає рівнянням (1.23) та (1.24) представлена на рис. 7.

На рис. 6 коло  $L_{1n} R_n$  враховує явища намагнічування магнітопроводу (складова  $L_{1n}$ ) та втрати у ньому (складова  $R_n$ );  $i_0 = i_1 - i'_2$  - струм намагнічування магнітопроводу.

При дослідженні роботи трифазних трансформаторів розглядаємо роботу однієї фази, так як вважаємо, що всі три фази навантажені симетрично. Для кожної з фаз використовується Т-подібна схема заміщення представлена на рис. 7.

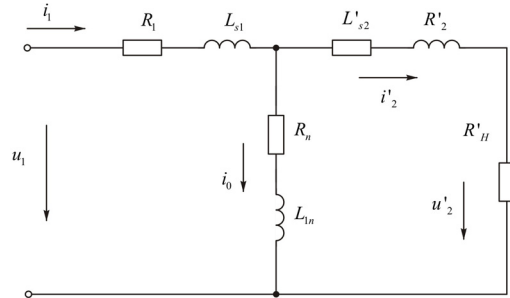


Рис. 7. Т-подібна схема заміщення трансформатора

Статичний перетворювач тягової електропередачі багатосистемного електровозу представляє собою багатоланкову структуру і є досить складною системою, а тому моделювання роботи цієї системи у номінальних та нестационарних режимах є складною задачею.

Для точного опису фізичних процесів в електромеханічних системах потрібне складання нелінійних диференціальних рівнянь. Навіть невелика відмінність у схемі може привести до того, що моделюватися буде, по суті, новий об'єкт, для якого необхідно вводити нові припущення, наближення тощо.

На практиці при моделюванні статичних перетворювачів необхідно враховувати властивості силових ключів, перетворювачів, їх характеристики. Тому, для моделювання використовують наступні способи, які дозволяють перейти від диференціальних рівнянь, котрі описують фізичні процеси, до їх практичної реалізації: моделювання тиристорних перетворювачів за середніми значеннями випрямленої електрорушійної сили; моделювання з врахуванням однонаправленості вентильного кола; моделювання тиристорних перетворювачів за миттєвими значеннями випрямленої е.р.с.; моделювання тиристорних перетворювачів методом переключальних функцій; моделювання тиристорних перетворювачів методом змінних опорів.

Останній метод отримав найбільш широке застосування у практиці, оскільки ця методика моделювання ґрунтується на описі перехідних процесів нелінійними диференціальними рівняннями, в яких вентилі представлені змінними опорами, що змінюють свою величину в залежності від величини і напрямку струму, або тільки від напрямку струму, а це в найбільшій мірі відповідає реальним фізичним процесам.

Отримання рівнянь для дослідження перехідних процесів, що мають місце в силових колах статичного перетворювача багатосистемного електровозу є досить складним, іноді вимагає використання спеціалізованих пакетів прикладних програм для моделювання розробленої системи на персональній обчислювальній машині. Складну задачу обробки таких математичних моделей, на думку автора, найбільш доцільно

покласти на потужний обчислювальний процесор такий як MatLab. Для аналізу властивостей електромеханічних та електротехнічних пристроїв широко застосовується складова частина пакету MatLab – програма імітаційного моделювання Simulink із бібліотекою SimPowerSystem, яка дозволяє розглядати роботу різних за своєю будовою і складністю електромеханічних систем.

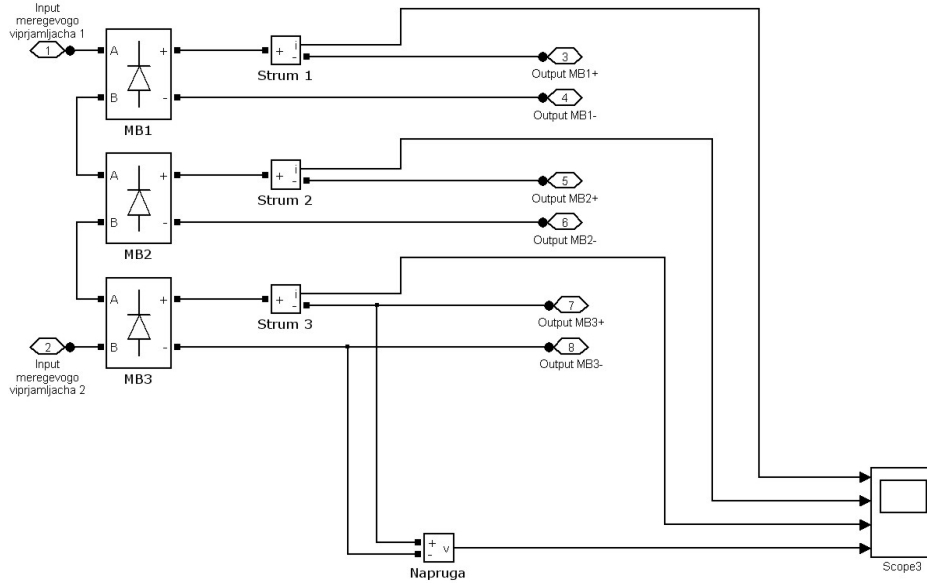


Рис. 8. Модель мережевого випрямляча

Вихідними даними для розробки та проведення імітаційного (комп'ютерного) моделювання є структура та параметри тягової електропередачі. Для кожного блоку перетворювача були створені імітаційні моделі в середовищі MatLab.

Блок мережевого випрямляча (рис.8) містить три послідовно з'єднаних некерованих мостових однофазних випрямляча MB1, MB2 та MB3, які під'єднуються до контактної мережі. Блоки Strum 1, Strum 2, Strum 3, Napruha призначені для контролю і вимірювання випрямленого струму і напруги всередині блоку.

З метою узгодження значень вихідної напруги високочастотного інвертора та напруги живлення тягового двигуна застосовується тяговий трансформатор. На рис. 9 наведена SPS-модель трифазного тягового трансформатора.

На рис. 10 наведено Simulink-модель для дослідження роботи автономного інвертора.

Блок 3 phase inverter IGBT це трифазний міст на IGBT-транзисторах, яким керує Discrete PWM Generator – дискретний ШІМ-генератор.

Створені імітаційні моделі структурних складових тягової електропередачі дозволяють розглянути перехідні процеси, які мають місце в статичному перетворювачі при різних режи-

мах його роботи. Розглядаються перехідні процеси, виникаючі при пуску статичного перетворювача із постійним навантаженням, а також стаціонарні режими роботи складових частин і перетворювача в цілому.

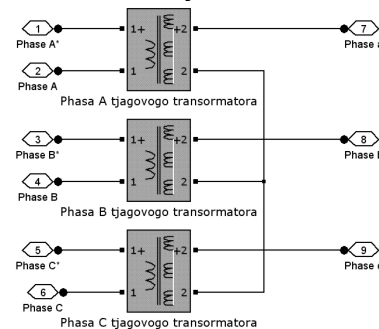


Рис. 9. Simulink-модель тягового трансформатора

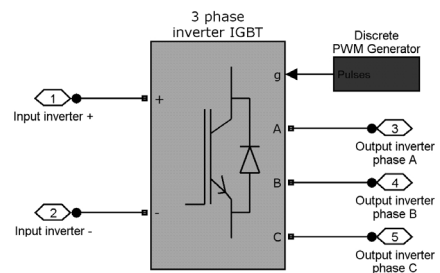


Рис. 10. Simulink-модель однофазного ШІМ інвертора

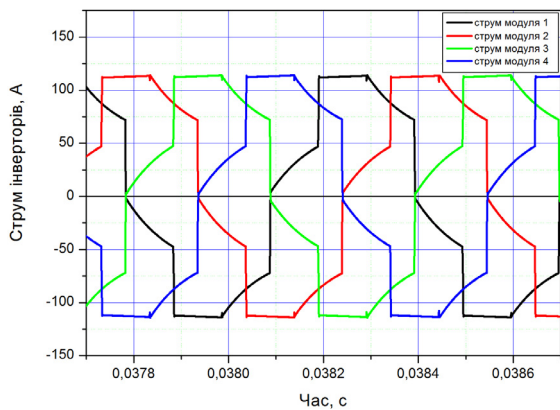


Рис. 11. Часова діаграма струмів

Структура тягової електропередачі передбачає застосування принципів багатофазності. Це дозволить в складі перетворювача утворити декілька еквівалентних фаз, кут зсуву між якими обернено пропорційний їх кількості. Використання еквівалентних фаз дозволяє зменшити рівень завад, які виникають при роботі перетворювача, поліпшити енергетичні показники та підвищити якість динамічних характеристик пристрою.

В структурних схемах із чотирма тяговими плечима зсув між еквівалентними фазами складає  $90^\circ$ . На рис. 11 наведено часову діаграму струмів еквівалентних фаз отриману для таких структур.

В структурах, де є лише два тягових модуля зсув між еквівалентними фазами приймається рівним  $180^\circ$ . На рис. 12 наведено часову діаграму струмів еквівалентних фаз для таких структур.

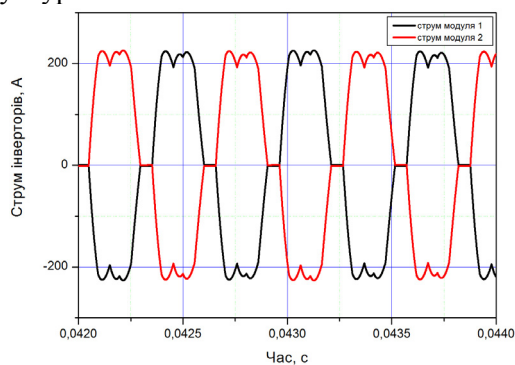


Рис. 12. Часова діаграма струмів.

В структурних схемах перетворювача із шістьма тяговими плечима величина фазового зсуву між силовими модулями складає  $60^\circ$ .

Вторинними перетворювачами для тягових двигунів виступають:

керований випрямляч – для двигуна постійного (пульсуючого) струму;

некерований випрямляч із автономним ШІМ-інвертором – для асинхронного тягового двигуна.

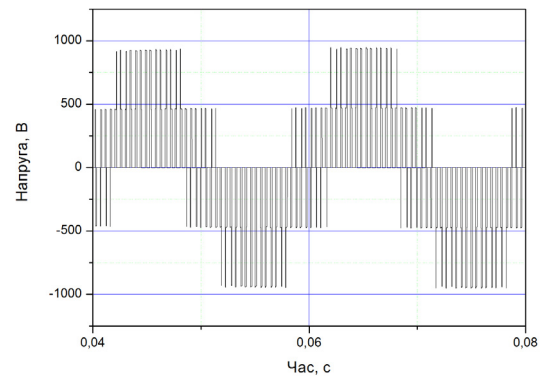


Рис. 13. Модульована напруга на виході автономного інвертора.

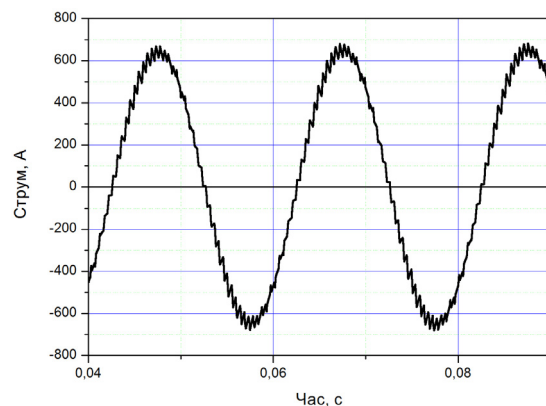


Рис. 14. Струм однієї фази обмотки статора асинхронного тягового двигуна.

ШІМ інвертор перетворює постійну напругу з виходу некерованого випрямляча в синусоїдальну і може одночасно керувати як величиною її амплітуди, так і її частотою (рис.3.5).

В обмотках статора асинхронного двигуна протікає майже синусоїдальний струм, форма якого достатньо серйозно поліпшується за рахунок значної індуктивності фаз обмоток.

На рис. 14. наведено часову діаграму струму однієї фази статора асинхронного двигуна, яку було отримано в результаті моделювання.

### Загальні висновки

В проведеній роботі було визначено якості перехідних процесів в силових колах статичного перетворювача перспективного багатосистемного електровозу. З цією метою на основі схем перетворювальних структур і математичних описів основних складових частин перетворювача було створено ряд імітаційних моделей в середовищі Matlab Simulink із використанням бібліотеки SimPowerSystem. Застосування названого програмного забезпечення дозволило провести моделювання роботи пере-

творювальних структур в різних режимах роботи, включаючи роботу під навантаженням а також пуск перетворювача.

Результати моделювання показали, що розглянуті структури перетворювачів є достатньо стійкими системами із відносно нетривалими перехідними процесами. Застосування принципів еквівалентних фаз дозволяє зменшити рівень завад, що виникають в тяговій мережі від роботи височастотних трансформаторів, які знаходяться всередині перетворювача і виступають джерелами вищих гармонічних складових тягового струму.

При моделюванні пуску перетворювача із активним навантаженням були виявлені короткочасні струмові перевантаження, які обумовлені процесом заряду ємнісних фільтрів-накопичувачів і подільників напруги. Для зменшення шкідливого впливу високих значень струму на контактну мережу, струмоприймачі і сам перетворювач пропонується застосовувати на вході мережевого випрямляча 4-q-s-перетворювач, який працює в режимі активного фільтру. Таке конструктивне рішення дозволить регулювати швидкість і плавність заряду конденсаторів, що містяться в структурі статичного перетворювача, зменшуючи величину перевантаження.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бурков, А. Т. Электронная техника и преобразователи [Текст]: учебн. для вузов ж.-д. трансп. / А. Т. Бурков– М.: Транспорт, 1999. – 464 с.

2. Статичні перетворювачі тягового рухомого складу [Текст] / Ю. П. Гончаров, М. В. Панасенко, О. І. Семенов, М. В. Хворост. – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – 192 с.

3. Бедфорд, Б. Теория автономных инверторов [Текст] / Б. Бедфорд, Р. Хофт ; пер. с англ. И. В. Антика. – М.: Энергия, 1969. - 280 с.

4. Богрый В. С. Математическое моделирование тиристорных преобразователей [Текст] / В. С. Богрый, А. А. Русских. – М.: Энергия, 1972. – 184 с.

5. Дубинець Л.В. Електричні машини. Трансформатори. Асинхронні машини [Текст]: навчальний посібник / Л.В. Дубинець, О.І. Момот, О.Л. Маренич - Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 208 с.

6. Вдовин С. С. Проектирование импульсных трансформаторов [Текст] / С. С. Вдовин – Л.: Энергия, 1971. – 148 с.

**Ключові слова:** статичний перетворювач, тягова передача, електровоз.

**Ключевые слова:** статический преобразователь, тяговая передача, электровоз.

**Keywords:** static converter, traction transmission, electric locomotive.

## МОЖЛИВІСТЬ РЕАЛІЗАЦІЇ АКТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ПЕРЕШКОД ТЯГОВОГО СТРУМУ У КОЛАХ СЦБ ТА ЗВ'ЯЗКУ ЕЛЕКТРИФІКОВАНИХ ЗАЛІЗНИЦЬ

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

### Вступ

Пристрої автоматики та телемеханіки є найважливішими елементами технічного озброєння залізничного транспорту. Ці пристрої дозволяють ефективно вирішувати завдання перевізного процесу, сприяючи збільшенню пропускної здатності залізничних ліній, забезпечуючи безпеку руху поїздів, безперервний зв'язок між всіма підрозділами залізничного транспорту. Але водночас їх нормальне функціонування пов'язане з якістю сигналу сигнальних кіл.

### Мета роботи

Мета роботи полягає у підвищенні надійності роботи останніх шляхом зниження впливу тягового струму використанням принципово нової системи фільтрації сигналу.

### Матеріал і результати дослідження

Пристрої сигналізації, централізації, блокування (СЦБ) та зв'язку, що використовуються на залізничному транспорті, включають в себе широкий спектр обладнання, що різняться за своїм функціональним призначенням, але в сукупності виконує всі вказані вище завдання. До них відносяться засоби автоматики й телемеханіки, що регулюють рух поїздів на перегонах (електрожезлова система, напівавтоматичне блокування, автоблокування); пристрої станційного блокування, що виконують керування стрілками й сигналами на станції (електрична й механічна централізація стрілок); диспетчерська централізація, що поєднує систему автоблокування і централізацію стрілок; телефонний, телеграфний й інші види провідникового зв'язку, радіозв'язок; пасажирська автоматика тощо.

Для живлення кіл СЦБ, використовують так звані рейкові кола (РК), які постійно знаходяться під впливом різноманітних факторів, що впливають на нормальне функціонування систем сигналізації, централізації та блокування. Основою цих факторів є електричні явища, дія яких може призводити до тимчасового відключення або хибного спрацювання апаратури СЦБ. Під цим розуміється, в основному, інду-

кування в рейкові кола вищих гармонійних складових тягового струму [1].

Основою захисту або ліквідації негативного впливу такого явища на роботу пристроїв СЦБ, на сьогоднішній день, є використання різноманітних фільтруючих елементів. Їх призначення, як відомо - виділення серед значного числа параметрів (сигналів, числових значень тощо) того значення або діапазону, що відповідає конкретним потребам. Такі елементи, як і будь-яке інше обладнання, класифікуються за своїми параметричними ознаками, конструкцією, призначенням тощо. Але на сьогоднішній день до цих головних ознак додається ще й та елементна база на основі якої створений даний конкретний фільтр.

Виходячи з цього фільтри класифікуються на пасивні, такі, що складаються з резисторів, конденсаторів і котушок індуктивності, і активні, що містять у своєму складі окрім пасивних елементів ще й активні, такі як транзистори або мікросхеми.

На даний час, на залізницях України у широкому загалі використовуються саме пристрої на базі пасивних елементів. Але використання такого обладнання не завжди призводить до досягнення бажаного результату. Справа в тому, що таким фільтром досить важко виділити серед всього спектру частот ту, що дозволить безперешкодно працювати пристроям сигналізації, централізації та блокування. Тому головною ідеєю, що постає в даний час, є створення фільтру, який дозволить більш точно відокремити сигнальну частоту від частоти перешкоди і таким чином покращити умови роботи пристроїв СЦБ.

Застосування підсилювальних елементів вигідно відрізняє активні фільтри від фільтрів на пасивних елементах. Такі пристрої характеризуються значною кількістю переваг у порівнянні з пасивними аналогами[2]:

- здатність підсилювати сигнал, що лежить у смузі їхнього пропускання;
- легкість налаштування;

- відносно невеликі габарити і маса, з майже відсутньою залежністю від смуги пропускання, що особливо важливо при розробці пристроїв, що працюють у низькочастотній області;
- простота каскадного включення при побудові фільтрів високих порядків.

Однією з таких є наявність у структурі фільтру декількох кіл зворотнього зв'язку, що дають можливість контролювати сигнал зі зміною характеристик фільтру безпосередньо під час роботи системи.

Таким чином, все вище вказане дозволяє припускати, що реалізація фільтру СЦБ на сучасній елементній базі передбачає передусім використання принципу активної фільтрації сигналу.

Для перевірки працездатності таких фільтруючих елементів, а також можливості їх широкого використання у колах СЦБ необхідно

провести моделювання системи впливу тягового струму.

Дослідження роботи будь якого електричного, механічного та іншого обладнання неможливе без візуального спостереження та аналізу реальних процесів, що протікають під час його експлуатації. Проведення таких дій дозволяє точно оцінити поведінку того чи іншого пристрою за наявності впливу на нього різноманітних явищ, як фізичного так і електромагнітного характеру, а також виявити його недоліки та переваги.

Як вже вказувалось вище головною причиною нестабільної роботи пристроїв СЦБ є індуктування в сигнальні кола апаратури останніх вищих гармонійних складових тягового струму. Тому з урахуванням цього була створена фізична модель, що якраз і імітує поведінку тягового струму (рис.1).

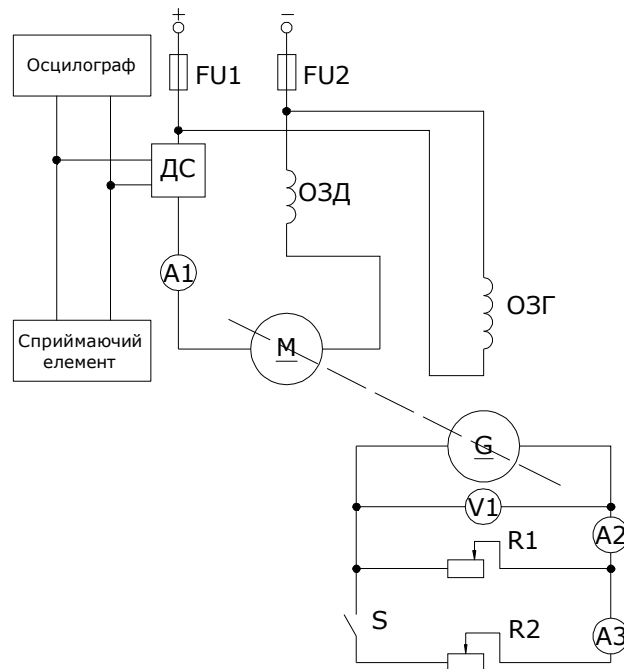


Рис. 1. Принципова схема експериментальної установки

Як видно з рис. 1 фізична модель представляє собою двигун постійного струму послідовного збудження, на валу якого в якості навантаження розміщений генератор постійного струму незалежного збудження, в якості навантаження якого виступають два водяні реостати R1 та R2. При цьому сприймаючий елемент, що входить до складу фізичної моделі використовується у якості приймача сигналу та містить у своєму складі фільтруючий елемент на базі мікроконтролера (рис. 2).

В даному випадку мікроконтролер виступає основою активного фільтруючого елементу, що

безпосередньо приймає та оброблює сигнал. Це пов'язано, в першу чергу, з його високою точністю та швидкістю обробки сигналу. Саме цей елемент пропонується використовувати у якості основи створення принципово нового активного фільтру сигналів кіл СЦБ.

Результатом роботи даної фізичної моделі є отримання та аналіз осцилограм досліджуваного сигналу – сигналу зміни струму, а також перевірка реакції сприймаючого елементу на цю зміну. Одна з таких осцилограм зображена на рис. 3.

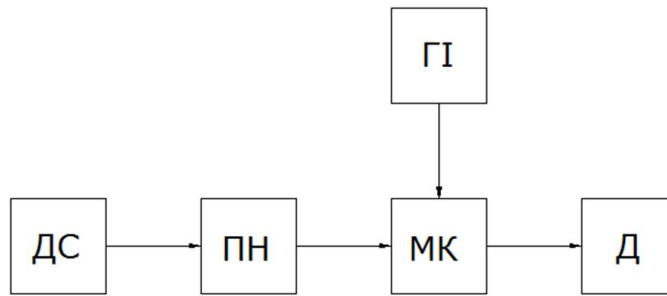


Рис. 2. Структурна схема сприймаючого елемента:

ГІ – генератор імпульсів; ДС – датчик струму; ПН – подільник напруги; МК – мікроконтролер; Д – світлодіод

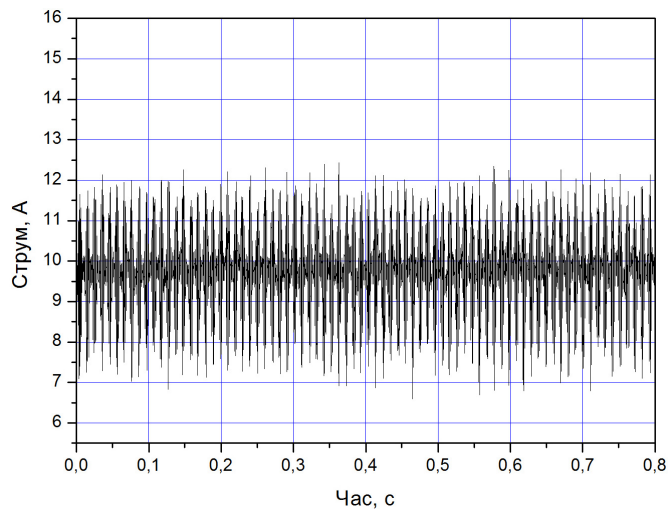


Рис. 3. Осцилограма зміни струму від часу в силовому колі двигуна фізичної моделі

З отриманого результату видно, що поруч з основною складовою силового струму в системі в широкому спектрі мають місце широкочастотні гармонійні складові, що можуть вносити значні негативні впливи на роботу тих чи інших пристроїв. В нашому випадку таким пристроєм є рейкове реле, робота якого безпосередньо пов'язана з забезпеченням безпеки руху поїздів.

Детальний розгляд отриманої осцилограми дійсно підтверджує те, що характер зміни сиг-

налів-перешкод є періодичним з різними частотними та амплітудними параметрами (рис. 4).

Як відомо нормальна робота пристроїв СЦБ та зв'язку обумовлена в першу чергу не лише надійністю їх структурних елементів, а й допустимими рівнями гармонійних складових мережевого струму [3]. Саме тому аналіз отриманих перешкод слід проводити з урахуванням вказаних вище факторів.

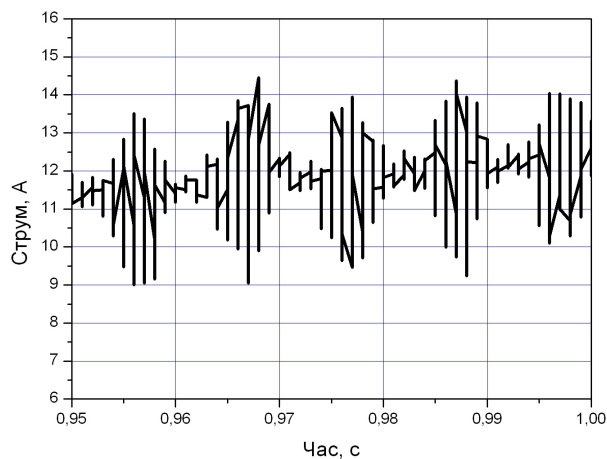


Рис. 4. Осцилограма зміни струму від часу в силовому колі двигуна фізичної моделі

Для оцінки гармонійного складу отриманого сигналу скористаємося відомим методом перетворення Фур'є. Цей метод дозволяє не тільки проілюструвати весь спектр вищих гармонійних сигналів, що містяться в даній осцилограмі, а й проаналізувати вплив останніх з урахуванням їх амплітуди та частоти.

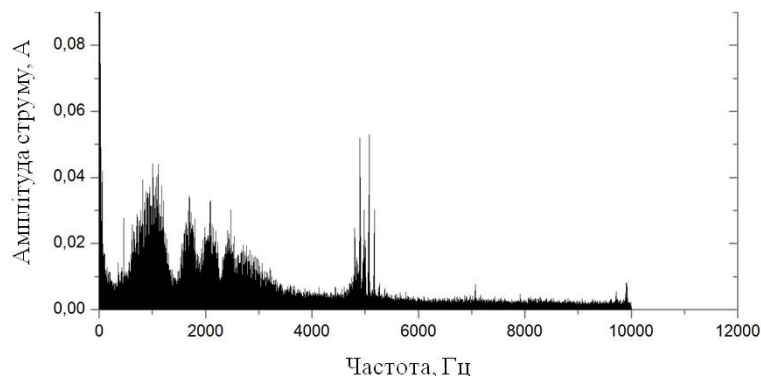


Рис. 5. Розподіл вищих гармонійних складових в силовому колі двигуна постійного струму

З отриманих результатів видно, що основними вищими гармонійними складовими, що можуть вносити значний вплив на ті чи інші пристрої є гармоніки з частотами 1072 Гц, 1765 Гц та 4980 Гц.

При цьому слід відмітити той факт, що серед вказаних частота 4980 Гц знаходиться у межах смуги частот 4963 – 5038 Гц, яка відноситься до частоти сигнального струму ліній СЦБ 5000 Гц [3].

Для перевірки працездатності фільтруючого елемента шляхом визначення реакції сприймаючого елемента необхідно задатися деяким опорним сигналом.

Сьогодні на залізничних станціях та перегонах на електричній тязі, що є переважаючою на залізницях України, широко застосовування знаходять реле типу ДСШ (двоелементне секторне штепсельне реле). Особливістю роботи такого обладнання є те, що його спрацювання відбувається лише за визначеної частоти сигнального струму [4]. При цьому вплив на котушку керування даного реле струму іншої частоти призводить до його відпускання.

Такі характерні особливості даного типу сприймаючого елемента дозволяють провести фізичну реалізацію принципів його роботи, та найголовніше, перевірити відповідність існуючих фільтруючих елементів своїм характеристикам.

Відомо, що будь які сигнали, які змінюються за періодичним законом у часі, в залежності від своєї частоти характеризуються різними значеннями крутизни фронту наростання. Так сиг-

Така обробка отриманої в результаті фізичного моделювання осцилограми дозволила отримати наступну картину розподілення вищих гармонійних складових відносно постійної складової струму в силовому колі двигуна постійного струму, що входить до складу моделі (рис. 5).

нали що мають меншу частоту зміни характеризуються значно меншою величиною останньої, в той час як більше значення частоти відповідає і більшій крутизни. Останнє твердження і було покладено в основу моделювання принципу роботи рейкового реле типу ДСШ.

Все вище вказане власне і дозволить перевірити можливість використання принципу активної фільтрації сигналів і, як наслідок, активних фільтрів на базі мікропроцесорної техніки у колах СЦБ та зв'язку.

Суть даного моделювання заключається у налаштуванні даного сприймаючого пристрою, що входить до складу фізичної моделі, на обрану частоту сигнального струму, а якщо точніше – на обрану крутизну фронту наростання. При цьому для зміни крутизни фронту наростання струму використовується другий реостат R2, що виконує функцію накидання навантаження і власне формує криву зміни струму у силовому колі двигуна.

В результаті проведеного моделювання були отримані осцилограми, що чітко пояснюють характер зміни струму та відповідну реакцію сприймаючого елемента (Рис. 6). З них видно, що незважаючи на наявність струму перешкоди, що накладається на основний сигнал, фільтр чітко виконує свою роботу. При цьому слід відмітити, що проведення аналогічного моделювання для пасивних фільтруючих елементів характеризувалось відсутністю належної фільтрації перешкоди.

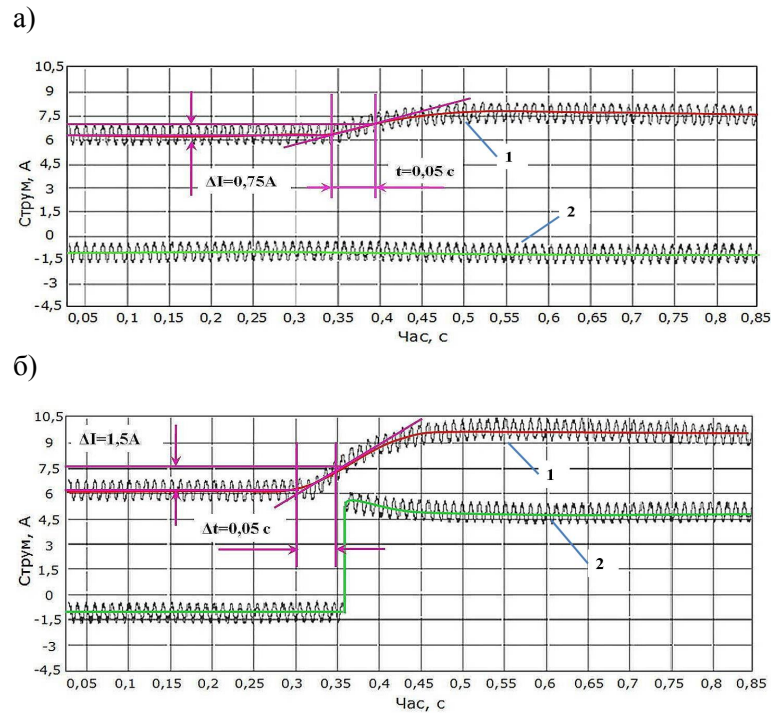


Рис. 6. Отримані результати моделювання: а) не спрацьовує; б) спрацьовує

## Висновки

Загалом проведені дослідження дозволили отримати реальну картину гармонійного розподілу вищих гармонійних складових та вказати на наявність у струмі силового кола частот, що можуть здійснювати вплив на сигнальні кола залізниць. І що найголовніше, такий аналіз дозволив вказати на можливість та доцільність використання активних фільтрів у якості фільтруючих елементів у колах СЦБ та зв'язку.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Кондратьева Л. А. Устройства железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст]: учебник для техникумов ж/д тр-та / Л. А. Кондратьева. – М.: Транспорт, 1983. – 232 с.
2. Хоровиц П. Искусство схемотехники [Текст]: в 2 т. / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ. М. В. Гальперина. – М.: Мир, 1986. – Т. 1. – 1986. – 593 с.
3. Поплаухин Э. Н. Пособие по ознакомлению с основными принципами работы и систе-

мами электроснабжения устройств СЦБ [Электронный ресурс] / Э. Н. Поплаухин, Н. В. Ожиганов. – СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2001. – Режим доступа: <http://пгупс.рф/index.php?PHPSESSID=hf16jkbej4r8ql>.

4. Казаков А. А. Станционные устройства автоматики и телемеханики [Текст]: учебник для техникумов ж/д тр-та / А. А. Казаков, В. Д. Бубнов, Е. А. Казаков. – М.: Транспорт, 1990. – 431 с.

**Ключові слова:** тяговий струм, перешкоди, пристрої залізничної автоматики, активна фільтрація.

**Ключевые слова:** тяговый ток, помехи, устройства железнодорожной автоматики, активная фильтрация.

**Keywords:** traction current, disturbance, railway traffic control devices, active filtration.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПУСКУ ТА РОБОТИ ЕЛЕКТРОДВИГУНА (ДК-409) КОМПРЕСОРА (ЭК-7Б) ПРИ НОМІНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРАХ НА НАГРІВАННЯ ІЗОЛЯЦІЇ ЯКОРЯ

*Представив д.т.н., професор Дубинець Л.В..*

Умови експлуатації допоміжних електричних машин рухомого складу дуже складні, а дослідження роботи електродвигуна компресора в різних експлуатаційних режимах є досить актуальним, оскільки, як показує статистика виходу з ладу електродвигунів компресорів електропоїздів ЕР-1, ЕР-2 в Дніпропетровському локомотивному депо, за один рік експлуатації за причиною пробою ізоляції якоря і обмотки полюсів бракується від 12 до 56 електродвигунів компресорів, які повинні безвідмовно працювати протягом 10 років (від капремонту до капремонту). Причому електричні пошкодження (прогар обмотки якоря та обмотки головного полюса) складають їх основний обсяг. Причиною цьому є нечітка та ненадійна робота системи захисту електродвигуна компресора від перегріву та перевантажень [1].

У нашому випадку нас цікавить процес пуску електродвигуна та робота в усталеному режимі при номінальних параметрах.

При експлуатації електропоїздів постійного струму можливі наступні режими пуску ЕД компресора: пуск при відсутності стисненого повітря у гальмівній магістралі; пуск при певному тиску у гальмівній магістралі; пуск при підвищеному та зниженому значеннях напруги у контактній мережі; пуск при початковому перегріві даної частини машини  $\tau_0 = 0$  та пуск при  $\tau_0 > 0$  (при кожному з цих варіантів необхідно враховувати температуру навколишнього середовища).

За допомогою математичної моделі, що описує теплові процеси, які протікають у електродвигуні компресора ДК-409, та значень пускових струмів, що отримані з допомогою моделювання процесів пуску (рис. 1), можливо отримати значення перегрівів при різних умовах пуску та подальшої роботи електродвигуна компресора [2].

Теплову модель створено за допомогою еквівалентної теплової схеми заміщення якоря електродвигуна ДК-409 [3] (рис. 2).

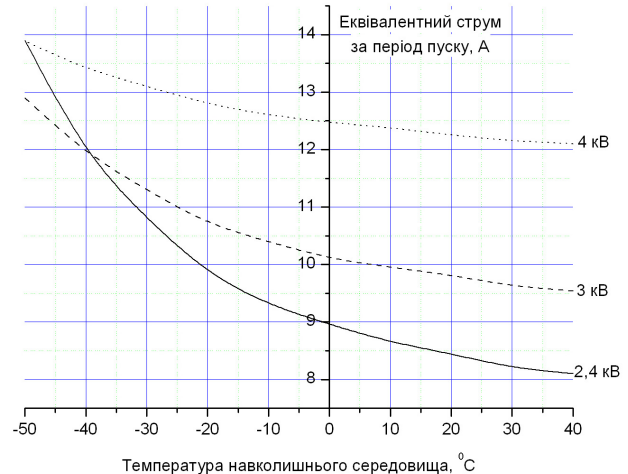


Рис. 1. Значення еквівалентних пускових струмів електродвигуна ДК-409 при різній температурі навколишнього середовища та різних значеннях напруги у контактній мережі

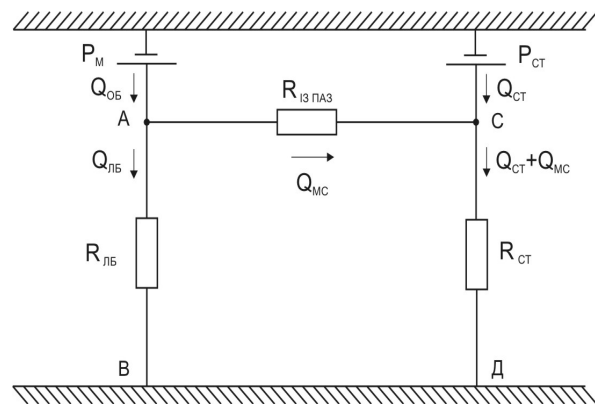


Рис. 2. Еквівалентна теплова схема якоря електродвигуна ДК-409

На базі теплової схеми заміщення отримано систему рівнянь (1), що описують теплові процеси у двигуні.

$$\begin{cases} Q_{обм} = Q_{лб} + Q_{мс} \\ \tau_{обм} = Q_{лб} \cdot R_{лб} \\ \tau_{ст} = (Q_{ст} + Q_{мс}) \cdot R_{ст} \\ Q_{лб} \cdot R_{лб} = Q_{мс} \cdot R_{ізпаз} + (Q_{ст} + Q_{мс}) \cdot R_{ст} \end{cases} \quad (1)$$

де  $Q_{обм}$  – тепловий потік обмотки якоря, Вт;  
 $Q_{лб}$  – тепловий потік, що передається повітрю,

яке охолоджує, через тепловіддаючі поверхні лобових з'єднань обмотки, Вт;  $Q_{мс}$  – тепловий потік, що переходить із міді обмотки через пазову ізоляцію з опором  $R_{ізпаз}$  у сталь осердя якоря, Вт;  $\tau_{обм}$  – перепад температури міді обмотки над температурою охолоджуючого повітря, °С;  $R_{лб}$  – тепловий опір обмотки якоря, °С/Вт;  $\tau_{ст}$  – перевищення температури сталі осердя над температурою охолоджуючого повітря, °С;  $Q_{ст}$  – тепловий потік сталі якоря, Вт;  $R_{ст}$  – загальний опір тепловому потоку, який віддається сталевому осердю якоря, °С/Вт;  $R_{ізпаз}$  – тепловий опір ізоляції паза якоря, °С/Вт.

У системі (1) маємо чотири невідомих:  $Q_{лб}$ ,  $Q_{мс}$ ,  $\tau_{обм}$ ,  $\tau_{ст}$ . Розв'язок цієї системи дозволяє знайти значення перевищення температури  $\tau_{обм}$  та  $\tau_{ст}$ .

Величину перегріву необхідної частини електричної машини за відомий проміжок часу, наприклад в режимі пуску, можливо визначити за формулою [4]:

$$\tau_t = \tau_{кн} \cdot \left( 1 - e^{-\left(\frac{t}{T_я}\right)} \right) + \tau_0 \cdot e^{-\left(\frac{t}{T_я}\right)}, \quad (2)$$

де  $\tau_{кн}$  – кінцевий перегрів даної частини машини, °С;  $T_я$  – постійна часу нагрівання якоря двигуна, хв.;  $t$  – час перехідного процесу, хв.;  $\tau_0$  – початковий перегрів даної частини машини, °С.

Під номінальними параметрами будемо вважати струм електродвигуна компресора  $I_{ном} = 4,65$  А, напругу компресора електродвигуна  $U_{ном} = 1500$  В (напруга в контактній мережі теж має номінальне значення і дорівнює 3 кВ), тривалість включення  $TВ = 50\%$  при тривалості циклу  $t_{ц} = 10$  хвилин – згідно з паспортними даними ЕД компресора, а час роботи  $t_p$  дорівнює часу паузи  $t_n$  і складає 300 с, значення еквівалентного струму під час пуску при 20 °С складає 9,62 А.

Пуск буде досліджуватись при порожній напірній магістралі. Використовуючи математичну модель теплових процесів електродвигуна компресора ДК-409 побудуємо діаграму нагрівання та охолодження його ізоляції якоря (рис. 3).

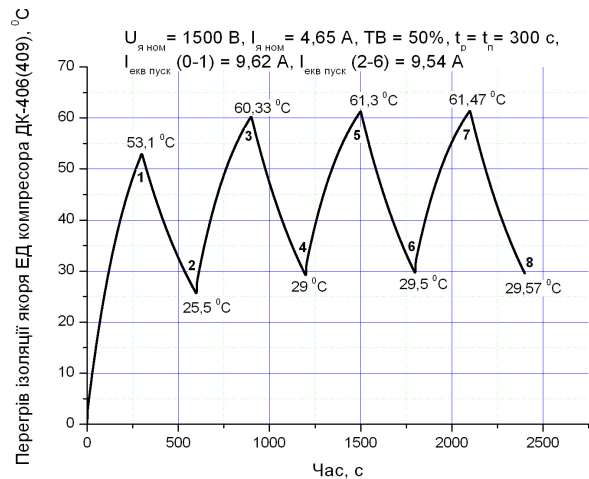


Рис. 3. Діаграма нагрівання ізоляції якоря електродвигуна ДК-409 при роботі у повторно-короткочасному режимі з  $TВ=50\%$  з номінальними параметрами при тиску у напірній магістралі 0 атм. під час пуску та роботи в усталеному режимі

Представлена діаграма є ідеальною розрахунковою кривою, згідно якої повинні протікати теплові процеси у двигуні компресора. При першому пуску електродвигуна компресора, що триває 1,2 с значення еквівалентного пускового струму дорівнює 9,62 А, потім електродвигун працює 298,8 с при усталеному значенні струму 4,65 А. За цей період (ділянка 0-1 рис. 3) перегрів ізоляції якоря складе 53,1 °С, тобто температура ізоляції при температурі навколишнього середовища 20 °С складе 73,1 °С. Після цього компресор відключається від живлячої мережі за допомогою реле тиску і починається пауза, що буде тривати теж 300 с (ділянка 1-2 рис. 2). за час цієї паузи перегрів двигуна зменшиться до 25,5 °С (температура ізоляції 45,5 °С).

Ділянка 2-3 на діаграмі показує, що пуск електродвигуна компресора триває 1,2 с при значенні струму в колі якоря 9,54 А (еквівалентний струм під час пуску при температурі навколишнього середовища 30 °С), після чого триває робота електродвигуна протягом 298,8 с при номінальному струмі у колі якоря 4,65 А, при цьому, перегрів ізоляції сягає значення 60,33 °С.

По аналогії відбуваються процеси пуску та зупинки електродвигуна компресора під час яких перегрів ізоляції якоря буде постійно зростати і лише під час четвертого пуску електродвигуна компресора (ділянка 6-7 діаграми рис.2) інтенсивність наростання перегріву знизиться. Різниця між точкою 5 та 7 складає:

$$\frac{61,47 - 61,3}{61,47} \times 100 = 0,3\% .$$

Тобто, максимальний перегрів ізоляції якоря у даному режимі складає 61,47°C, а мінімальний перегрів складає 29,57°C.

Таким чином, при температурі навколишнього середовища 20°C та під час пуску і роботи при номінальних параметрах двигуна-компресора, реальна максимальна температура ізоляції якоря буде складати 81,47°C, а мінімальна 49,57°C. Тобто, якщо температура навколишнього середовища при даному режимі роботи сягне 40°C, то температура ізоляції якоря не перевищить значення максимально допустимої в 120°C [4] і складе 101,47°C.

Як показали експериментальні дослідження роботи електродвигуна компресора, його реальний режим роботи дещо відрізняється від розрахункового. Отже, вплив зміни його режиму роботи на нагрівання ізоляції якоря в реальних умовах експлуатації буде дещо іншим і може перевищувати отримані значення перегріву. Тому вплив режимів роботи двигуна на перегрів ізоляції при неномінальних режимах роботи буде проведено в подальших дослідженнях.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Дубинець Л. В. Вплив умов експлуатації на надійність двигунів компресорів електропоїздів постійного струму [Текст] / Л. В. Дубинець, Р. В. Краснов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. –

Вип. 18. – Д.: Вид-во Дніпропетр.нац.ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна, 2007. – С. 29-31.

2. Краснов Р. В. Моделювання процесу пуску електропривода поршневого компресора (ЕК-7Б) з двигуном ДК-409 електропоїзда ЕР2 [Текст] / Р. В.Краснов, Д. В. Устименко, А. В. Шаповалов // Збірник статей Харківської національної академії міського господарства. – Вип. 97, 2011. – С. 251-256.

3. Находкин М. Д. Проектирование тяговых электрических машин [Текст] / М. Д. Находкин, Г. В. Василенко, В. И. Бочаров, // Под ред. М. Д. Находкина. Учебное пособие для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1976. – 624 с.

4. Безрученко, В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу. / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак // – Д.: вид-во Д. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.

**Ключові слова:** електрорухомий склад, допоміжні електричні машини, електродвигун компресора.

**Ключевые слова:** электроподвижной состав, вспомогательные электрические машины, электродвигатель компрессора.

**Keywords:** electric rolling stock, auxiliary electrical machines, compressor electric motor.

## АНОТАЦІЇ

### УДК 621.331

Максимчук В.Ф. Електрифікація, як все починалось [Текст] / В.Ф. Максимчук, І.І. Лагута, В.Г. Сиченко // Електрифікація транспорту. – 2011. – № 1. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 5-9.

Розглянуто історію електрифікації залізничного транспорту, перспективи електрифікації та її сучасний стан.

### УДК 621.313.001.4

Афанасов А.М. Визначення витрат електроенергії на проведення приймально-здавальних випробувань тягових електричних машин [Текст] / А.М. Афанасов // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 10-14.

У статті проведена методика визначення корисної енергії, що витрачається на виконання окремих пунктів програми приймально-здавальних випробувань тягових електричних машин.

Список літ. – 2 назв.

### УДК 656.259.1

Бялонь А. Проблеми електромагнітної сумісності пристроїв залізничної автоматики та електрорухомого складу [Текст] / А. Бялонь // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 15-21.

В статті розглянуто загальні проблеми електромагнітної сумісності пристроїв залізничної автоматики з електрорухомим складом. Представлено методи лабораторних та натурних вимірювань чутливості пристроїв залізничної автоматики до електромагнітних завад на прикладі пристрою контролю зайнятості ділянки. Виконано попередній аналіз впливу тягових струмів.

Іл. – 12, табл. – 2, список літ. – 3 назв.

### УДК 621.331

Бондар І.Л. Фізичне моделювання електричних, теплових і механічних процесів у малогабаритному струмообмежувальному реакторі [Текст] / І.Л. Бондар, Т.С. Перетятко // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 22-25.

Створено фізичну модель реактора для зменшення впливу електромагнітних полів на суміжні прилади. Приведені формули для розрахунку індуктивності реактора та його оптимальних розмірів для вдалого конструктивного рішення при випуску індуктивних котушок та реакторів.

Іл. – 2, список літ. – 6 назв.

### УДК 621.3.011.7

Бондар О.І. Розвиток методики визначення електричних показників якості покриттів в ресурсозберігаючих установках імпульсного електролітичного відновлення деталей електрорухомого складу залізниць [Текст] / О.І. Бондар // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 26-29.

В роботі викладено узагальнену методику аналізу параметричного електричного кола з електролізером імпульсного осадження мідних покриттів методом перетворення змінних. За допомогою цього методу вперше отримано аналітичну часову залежність прикатодного спаду напруги у колі із зазначеним електролізером. Представлено також залежність зміни у часі максимального значення прикатодного спаду напруги в цьому колі.

Іл. – 4, список літ. – 5 назв.

### УДК 629.423.1.087:621.314.572

Власьєвський С.В. Підвищення ефективності роботи електровоза змінного струму з плавним регулюванням напруги в режимах тяги і рекуперативного гальмування [Текст] / С.В. Власьєвський, В.Г. Скорик, Е.В. Буняєва, Д.С. Фокін // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 30-34.

Запропоновано збільшення коефіцієнта потужності у режимі тяги та рекуперативного гальмування для повернення електроенергії у контактну мережу та для зменшення питомих витрат електроенергії. Розглянуто застосування нових алгоритмів управління випрямно-інверторних перетворювачів на 1-й зоні, застосування діодних плечей.

Іл. – 6.

### **УДК 621.332**

Воронов М.М., Ляшук В.М. Дослідження можливості використання технічних заходів, що підвищують надійність тягових агрегатів [Текст] / М.М. Воронов, В.М. Ляшук // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 35-37.

Запропоновано модернізацію для підвищення надійності тягових агрегатів та розглянуто питання діагностики устаткування.

Іл. – 3, список літ. – 6 назв.

### **УДК 621.332**

Куделька О.В., Ляшук В.М. Модернізація фідерної автоматики на тяговій підстанції постійного струму [Текст] / О.В. Куделька, В.М. Ляшук // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 39-41.

Виконано обґрунтування можливості використання фідерної автоматики нового покоління на тяговій підстанції ЕЧЕ – 43, м. Новомосковськ.

Іл. – 2, список літ. – 6 назв.

### **УДК 621.331**

Кузнецов В.Г. Аналіз динаміки зміни «умовних» втрат електричної енергії в тяговій мережі [Текст] / В.Г. Кузнецов, Т.І. Кирилук, Ю.М. Сергатий // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 42-45.

У статті проведений аналіз динаміки зміни «умовних» втрат електричної енергії в тяговій мережі на Одеській залізниці. Дані рекомендації по зменшенню питомих втрат.

Іл. – 7, табл. – 1, список літ. – 4 назв.

### **УДК 621.331**

Лагута І.І., Лагута А.Л. Впровадження інформаційних технологій у господарствах електропостачання залізниць України [Текст] / І.І.Лагута, А.Л.Лагута // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 46-49.

Розглянуто впровадження інформаційних технологій у підпорядкованих господарствах для підвищення економічного ефекту та підвищення рівня управління.

### **УДК 621.331**

Матусевич О.О. Методологічні концепції удосконалення системи керування тягового електропостачання залізниць [Текст] / О.О.Матусевич // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 50-52.

Розглянута методологія вдосконалення системи управління електропостачання електрифікованих залізниць на основі когнітивного підходу. Викладені принципові положення, на які можна спиратися при практичній реалізації подібного підходу.

Список літ. – 6 назв.

### **УДК 629.423: 621.331**

Міщенко Т.М. Перехідні процеси в електротяговій мережі змінного струму при вмиканні силового трансформатора електровоза ДС3 у режимі холостого ходу [Текст] / Т.М.Міщенко // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 53-56.

В статті приведено аналіз математичних моделей систем змінного струму, в які поступово підключаються елементи тягової мережі, «тягова підстанція – пристрій поперечної компенсації – тягова мережа – електровоз ДС3» та вмикання силового трансформатора в режимі холостого ходу, в залежності від фідерної напруги та відстані електровоза від тягової підстанції. Виконані чисельні розрахунки та аналіз струму намагнічування трансформатора, напруги та струмів в системі електропостачання.

Іл. – 5, табл. – 1, список літ. – 3 назв.

### **УДК 621.332.3:629.423**

Михаліченко П.Є., Костін М.О. Релейний мікропроцесорний захист системи тягового електропостачання, оснований на новій ознаці. Схемне рішення [Текст] / П.Є. Михаліченко, М.О. Костін // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 57-63.

У статті запропоновано схемне рішення системи захисту, оснований на новій ознаці визначення аварійного режиму системи тягового електропостачання постійного струму, а саме, швидкість спадання напруги фідера тягової підстанції. Дана ознака дозволяє визначити вид короткого замикання.

Лл. – 6, список літ. – 8 назв.

#### **УДК 620.197:621.643**

Шевельов Д.А., Дьяков В.О. Дослідження протикорозійного захисту підземних металевих споруд на електролітичній моделі [Текст] / Д.А. Шевельов, В.О. Дьяков // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 64-68.

Проведено дослідження достовірності корозійних вимірювань потенціалів підземних споруд по відношенню до сталевого і мідно-сульфатного електрода. Виконано порівняння ефективності електродренажного захисту в лабораторних умовах.

Лл. – 8, список літ – 2 назв.

#### **УДК 629.423.1:621.314**

Балійчук О.Ю. Моделювання роботи статичного перетворювача тягової передачі електровозу [Текст] / О.Ю.Балійчук // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 69-76.

У статті розглянуто способи моделювання статичних перетворювачів за допомогою методів імітаційного моделювання в середовищі MatLab та класичних методів математичного моделювання. Створено імітаційну модель тягової передачі перспективного багатосистемного електровозу для дослідження стаціонарних і перехідних режимів роботи.

Лл. – 14, список літ. – 6 назв.

#### **УДК 629.423:621.3.024**

Бондаренко Ю.С. Можливість реалізації активної фільтрації перешкод тягового струму у колах СЦБ та зв'язку електрифікованих залізниць [Текст] / Ю.С. Бондаренко // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 77-81.

У статті розглянуто питання впливу тягового струму електрорухомого складу на кола СЦБ та зв'язку електрифікованих залізниць, розглянуто можливість використання принципів активної фільтрації сигналів із застосуванням фізичного моделювання впливу тягового струму.

Лл. – 6, список літ. – 4 назв.

#### **УДК 621.313.2-83**

Краснов Р.В., Шаповалов А.В. Дослідження впливу пуску та роботи електродвигуна (ДК-409) компресора (ЭК-7Б) при номінальних параметрах на нагрівання ізоляції якоря [Текст]/ Р.В.Краснов, А.В. Шаповалов // Електрифікація транспорту. – 2011. – №1. – Д.:Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 82-84.

В статті показано дослідження впливу пуску та усталених режимів роботи при номінальних параметрах електродвигуна компресора на нагрівання його ізоляції якоря. На базі отриманої методики можливо визначити величину перегріву при різних режимах його роботи, що відрізняються від номінального, які в подальшому будуть використані для оцінки ступеню їх впливу на стан ізоляції.

Лл. – 3, список літ – 4 назв.

## АННОТАЦИИ

### УДК 621.331

Максимчук В.Ф. Электрификация, как все начиналось [Текст] / В.Ф.Максимчук, И.И. Лагута, В.Г. Сыченко // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 5-9.

Рассмотрена история электрификации железнодорожного транспорта, перспективы электрификации и ее современное состояние.

### УДК 621.313.001.4

Афанасов А.М. Определение расходов электроэнергии на проведение приемосдаточных испытаний тяговых электрических машин [Текст] / А.М. Афанасов // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 10-14.

В статье приведена методика определения полезной энергии, которая тратится на выполнение отдельных пунктов программы приемосдаточных испытаний тяговых электрических машин.

Список лит. – 2 назв.

### УДК 656.259.1

Бялонь А. Проблемы электромагнитной совместимости устройств железнодорожной автоматики и электроподвижного состава [Текст] / А. Бялонь // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 15-21.

В статье рассмотрены общие вопросы электромагнитной совместимости устройств железнодорожной автоматики с электроподвижным составом. Представлено методы лабораторных и натурных измерений чувствительности устройств железнодорожной автоматики к электромагнитным помехам на примере устройства контроля занятости участка. Выполнен предварительный анализ влияния тяговых токов.

Ил. – 12, табл. – 2, список лит. – 3 назв.

### УДК 621.331

Бондарь И.Л., Перетяцько Т.С. Физическое моделирование электрических, тепловых и механических процессов в малогабаритном токоограничивающем реакторе [Текст] / И.Л. Бондарь, Т.С. Перетяцько // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 22-25.

Создана физическую модель реактора для уменьшения влияния электромагнитных полей на смежные приборы. Приведены формулы для расчета индуктивности реактора и его оптимальных размеров для удачного конструктивного решения при выпуске индуктивных катушек и реакторов.

Ил. – 2, список лит. – 6 назв.

### УДК 621.3.011.7

Бондарь О.И. Развитие методики определения электрических показателей качества покрытий в ресурсосберегающих установках импульсного электролитического возобновления деталей электродвижущего состава железных дорог [Текст] / О.И. Бондарь // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 26-29.

В работе изложена обобщенная методика анализа параметрического электрического круга с электролизером импульсного осаждения медных покрытий методом превращения переменных. С помощью этого метода впервые получена аналитическая часовая зависимость прикатодного падения напряжения в кругу с отмеченным электролизером. Представлена также зависимость изменения во времени максимального значения прикатодного падения напряжения в этом кругу.

Ил. – 4, список лит. – 5 назв.

### УДК 629.423.1.087:621.314.572

Власьевский С.В. Повышение эффективности работы электровоза переменного тока с плавным регулированием напряжения в режимах тяги и рекуперативного торможения [Текст] / С.В. Власьевский, В.Г. Скорик, Е.В. Буняева, Д.С. Фокин // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 30-34

Предложено увеличение коэффициента мощности в режиме тяги и рекуперативного торможения для возвращения электроэнергии в контактную сеть и для уменьшения удельных расходов

электроэнергии. Рассмотрено применение новых алгоритмов управления выпрямительно-инверторных преобразователей на 1-й зоне, применение диодных плеч.

Ил. – 6.

#### **УДК 621.332**

Воронов М.М. Исследование возможности использования технических мероприятий, которые повышают надежность тяговых агрегатов [Текст] / М.М. Воронов, В.М. Ляшук // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 35-37.

Предложена модернизация для повышения надежности тяговых агрегатов и рассмотрен вопрос диагностики оборудования.

Ил. – 3, список лит. – 6 назв.

#### **УДК 621.332**

Куделька О.В. Модернизация фидерной автоматики на тяговой подстанции постоянного тока [Текст]/О.В. Куделька, В.М. Ляшук // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 39-41.

Выполнено обоснование возможности использования фидерной автоматики нового поколения на тяговой подстанции ЕЧЕ - 43, г. Новомосковск.

Ил. – 2, список лит. – 6 назв.

#### **УДК 621.331**

Кузнецов В.Г. Анализ динамики изменения "условных" потерь электрической энергии в тяговой сети [Текст] / В.Г.Кузнецов, Т.И.Кирилюк, Ю.М.Сергатый // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 42-45.

В статье приведен анализ динамики изменения "условных" потерь электрической энергии в тяговой сети на Одесской железной дороге. Данные рекомендации по уменьшению удельных потерь.

Ил. – 7, табл. – 1, список лит. – 4 назв.

#### **УДК 621.331**

Лагута И.И. Внедрение информационных технологий в хозяйство электроснабжения железных дорог Украины [Текст] / И.И.Лагута, А.Л.Лагута // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 46-49.

Внедрение информационных технологий в подчиненных хозяйствах для повышения экономического эффекта и повышения уровня управления.

#### **УДК 621.331**

Матусевич А.А. Методологические концепции усовершенствования системы управления тягового электроснабжения железных дорог [Текст] / А.А.Матусевич // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 50-52.

Рассмотрена методология совершенствования системы управления электроснабжения электрифицированных железных дорог на основе когнитивного подхода. Изложенные принципиальные положения, на которые можно опираться при практической реализации подобного подхода.

Список лит. – 6 назв.

#### **УДК 629.423: 621.331**

Мищенко Т.М. Переходные процессы в электротяговой сети переменного тока при включении силового трансформатора электровоза ДС 3 в режиме холостого хода [Текст] / Т.М. Мищенко // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 53-56.

В статье приведен анализ математических моделей систем переменного тока, в которые постепенно подключаются элементы тяговой сети "тяговая подстанция - устройство поперечной компенсации - тяговая сеть - электровоз ДС3" и включение силового трансформатора в режиме холостого хода, в зависимости от фидерного напряжения и расстояния электровоза от тяговой подстанции. Выполнены численные расчеты и анализ тока намагничивания трансформатора, напряжения и токов в системе электроснабжения.

Ил. – 5, табл. – 1, список лит. – 3 назв.

### **УДК 621.332.3:629.423**

Михаличенко П.Е. Релейная микропроцессорная защита системы тягового электроснабжения, основанная на новом признаке. Схемное решение [Текст] / П.Е.Михаличенко, Н.А.Костин // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 57-63.

В статье предложено схемное решение системы защиты, основанное на новом признаке определения аварийного режима системы тягового электроснабжения постоянного тока, а именно, скорость падения напряжения фидера тяговой подстанции. Данный признак позволяет определить вид короткого замыкания.

Ил. – 6, список лит. – 8 назв.

### **УДК 620.197:621.643**

Шевелев Д.А. Исследование противокоррозионной защиты подземных металлических сооружений по электролитической модели [Текст] / Д.А. Шевелев, В.А. Дьяков // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 64-68.

Проведено исследование достоверности коррозионных измерений потенциалов подземных сооружений по отношению к стальному и медно-сульфатному электроду сравнения и эффективности электродренажной защиты в лабораторных условиях.

Ил. – 8, список лит – 2 назв.

### **УДК 629.423.1:621.314**

Балийчук О.Ю. Моделирование работы статического преобразователя тяговой передачи электровоза [Текст] / О.Ю.Балийчук // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 69-76.

В статье рассмотрены способы моделирования статических преобразователей с помощью методов имитационного моделирования в среде MatLab и классических методов математического моделирования. Создана имитационная модель тяговой передачи перспективного многосистемного электровоза для исследования стационарных и переходных режимов работы.

Ил. – 14, список лит. – 6 назв.

### **УДК 629.423:621.3.024**

Бондаренко Ю.С. Возможность реализации активной фильтрации препятствий тягового тока в кругах СЦБ и связи электрифицированных железных дорог [Текст] / Ю.С. Бондаренко // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 77-81.

В статье рассмотрен вопрос влияния тягового тока электродвижущего состава на круги СЦБ и связи электрифицированных железных дорог, рассмотрена возможность использования принципов активной фильтрации сигналов с применением физического моделирования влияния тягового тока.

Ил. – 6, список лит. – 4 назв.

### **УДК 621.313.2-83**

Краснов Р.В. Исследование влияния пуска и работы электродвигателя (ДК-409) компрессора (ЭК - 7Б) при номинальных параметрах на нагревание изоляции якоря [Текст] / Р.В.Краснов, А.В. Шаповалов // Электрификация транспорта. – 2011. – № 1. – Д.: Изд-во ДНУЖТ, 2011. – С. 82-84.

В статье показано исследование влияния пуска и устоявшихся режимов работы при номинальных параметрах электродвигателя компрессора на нагревание его изоляции якоря. На базе полученной методики возможно определить величину перегрева при разных режимах его работы, что отличаются от номинального, которые в дальнейшем будут использованы для оценки степени их влияния на состояние изоляции.

Ил. – 3, список лит – 4 назв.

## ANNOTATIONS

### **UDC 621.331**

Maksymchuk V.F.. The electrification, as it was beginning [Text] / V.F. Maksymchuk, I.I. Lahuta, V.G. Sychenko // Electrification of transport – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 5-9.

The authors describe the history of the electrification of railways, prospects of electrification and its present situation.

### **UDC 621.313.001.4**

Afanasov A. M. The determination of the energy expended on implementation of receiving tests of hauling electric machines [Text] / A. M. Afanasov // Electrification of transport – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 10-14.

The authors described a method for determining the useful energy that is spent on the implementation of the various points of traction acceptance tests of electrical machines

The list of literature. - 2 titles.

### **UDC 656.259.1**

Białoń A. Problems of electromagnetic compatibility control command devices and rolling stock [Text] / A. Białoń // Electrification of transport – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 15-21.

The paper discusses general rules of electromagnetic compatibility between rolling stock and railway traffic control devices. It presents methods of laboratory and field measurement sensitivity to disruptions railway traffic control devices on the example of track occupation control devices. Exemplary analysis results of track circuits' sensitivity were presented.

Illustrations – 12, table – 2, the list of literature – 3 titles

### **UDC 621.331**

Bondar I.L. The physical modeling of electrical, thermal and mechanical processes in compact current-limiting reactor [Text] / I.L. Bondar, T. S. Peretyatko // Electrification of transport. – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 22-25.

The authors described how to create a physical model of the reactor for reducing electromagnetic interference to neighboring equipment. Also, authors present the formulas for calculating the inductance of the reactor and its optimal size for a successful constructive solution with the release of inductive coils and reactors.

Illustrations – 2, the list of literature – 6 titles

### **UDC 621.3.011.7**

Bondar O.I. The development of methodology for determining the electrical performances of coverings in resource recovery plants of pulsed electrolytic reactivation details of the rolling stock railways [Text] / O.I. Bondar // Electrification of transport. – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 26-29.

In this paper authors present a generalized method for analyzing parametric electric range with a pulsed electrolyzer deposition of copper coatings by the transformation of variables. With this method, first obtained an analytical dependence hour cathode voltage drop in a circle with a marked electrolyzer. The authors also presented the dependence of the time variation of the maximum value of the cathode voltage drop in this circle.

Illustrations – 4, the list of literature – 5 titles

### **UDC 629.423.1.087:621.314.572**

Vlasyevskiy S.V. The increasing of efficiency of an electric alternating current locomotive with smooth voltage regulation in the modes of traction and regenerative braking [Text] / S.V. Vlasyevskiy, V.G. Skoryk, E.V. Bunyaeva, D.S. Fokyn // Electrification of transport – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 30-34.

The authors describe an increase in power factors in the mode of traction and regenerative braking to return to of electricity in the contact network and for reducing unit cost of electricity. The authors also spoke about the use of new control algorithms rectifier inverter converter in the first zone and the use of diode shoulders.

Illustrations – 6

### **UDC 621.332**

Voronov M.M. The investigation of the possibility of using technical hardwares, step-up reliability of hauling arms [Text] / M.M. Voronov, V.M. Lyashuk // Electrification of transport. – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 35-37.

The authors proposed modernization to improve the reliability of traction units. They also reviewed the diagnostics of equipment.

Illustrations – 3, the list of literature – 6 titles.

### **UDC 621.332**

Kudelka O.V. The modernization of the feeder automation on traction substation of direct current [Text] / O.V. Kudelka, V.M. Lyashuk // Electrification of transport. – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 39-41.

The authors grounded the use of feeder automation to a new generation of traction substation ECH- 43, Novomoskovsk.

Illustrations – 2, the list of literature – 6 titles.

### **UDC 621.331**

Kuznetsov V.G. The dynamics of change «conditional losses» of electricity in the traction network [Text] / V.G. Kuznetsov, T.I. Kirilyuk, J.M. Sergaty // Electrification of transport. – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 42-45.

The authors analyze the dynamics of change in "conventional" losses in traction network to Odessa railway. They also give recommendations that will reduce the "conditional" losses.

Illustrations – 7, table – 1, the list of literature – 4 titles.

### **UDC 621.331**

Lahuta I.I. The installation of information technology in railway's power supply system of Ukraine [Text] / I.I. Lahuta, A.L. Lahuta // Electrification of transport. – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 46-49.

The authors describe the implementation of information technology in subordinate farms to increase economic effect and improve governance.

### **UDC 621.331**

Matusevich O.O. The methodological concepts of improving the management of power supply of electrified railway [Text] / O.O. Matusevich // Electrification of transport. – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 50-52.

The author considers the method of improving the management of power supply of electrified railways on the basis of the cognitive approach. The author also presented the fundamental provisions for the practical realization of this approach.

The list of literature – 6 titles.

### **UDC 629.423: 621.331**

Mishchenko T.M. The transient processes in the electrical traction of alternating current when power transformer of electric locomotive DS3 is including in the mode of idling [Text] / T.M. Mishchenko // Electrification of transport. – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 53-56.

The paper presents an analysis of mathematical models of AC systems, which are gradually connected to traction network elements of the "traction substation - a device cross-compensation - Power train - electric DC3" and the inclusion of a power transformer at idle, depending on the feeder voltage and the distance from the electric substation. Numerical calculations and analysis of transformer magnetizing current, voltage and current in the electricity system. Ил. – 5, табл. – 1, список лит. – 3 назв.

### **UDC 621.332.3:629.423**

Myhalichenko P.E. The microprocessor relay protection of the system traction power supply, based on a new sign of determination. Circuit decision [Text] / P.E. Myhalichenko, M.O. Kostin // Electrification of transport. – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 57-63.

The article suggested schematic of the protection system based on a new criterion for determining the emergency mode of traction current DC, namely, the speed of the voltage drop across the feeder substation. This feature allows define the type of short circuit.

Illustrations – 6, the list of literature. - 8 titles

#### **UDC 620.197:621.643**

Shevelev D.A. The investigation of anticorrosive protection of underground metallic structures on the electrolytic model [Text] / D.A. Shevelev, V.O. Dyakov // *Electrification of transport*. – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 64-68.

The authors conducted a study of reliability of measurements of corrosive potential of underground structures in relation to the steel and copper-sulfate reference electrode and effectiveness Electric drainage protection in the laboratory.

Illustrations – 8, the list of literature – 2 titles.

#### **UDC 629.423.1:621.314**

Baliychuk O.U. The modeling of the work of the static converter traction of traction transmission of electric locomotive [Text] / O.U. Baliychuk // *Electrification of transport*. – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 69-76.

The article deals with ways of modeling static converters using the methods of simulation in MatLab and the classical methods of mathematical modeling. Created a simulation model of traction transmission of long-term multi-system locomotives for the investigation of steady-state and transient operating conditions.

Illustrations – 14, the list of literature – 6 titles.

#### **UDC 629.423:621.3.024**

Bondarenko U.S. The possibility of realization active filtration of interference of traction current in circles SCB and radio communications of the electrified railways [Text] / U.S. Bondarenko // *Electrification of transport* – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 77-81.

The authors consider the influence of the electromotive traction current on wheels signaling and communication of electrified railways, the possibility of using the principles of active filtering of signals with the use of physical modeling of the influence of the traction current.

Illustrations – 6, the list of literature – 4 titles.

#### **UDC 621.313.2-83**

Krasnov R.V. The influence of study start-up and work at nominal parameters of the compressor (EK-7B) motor (DK-409) for heating insulation anchor it [Text] / R.V. Krasnov, A.V. Shapovalov // *Electrification of transport*. – 2011. – No. 1. – D.: DNURT, 2011. – P. 82-84.

The authors investigated the effect of start-up and steady-state modes of operation at nominal parameters of the compressor motor to heat its insulation anchors. On the basis of the resulting methods can determine the amount of heat for different operation modes, which differ from the nominal, which will later be used to assess the extent of their impact on the state of isolation.

Illustrations – 3, the list of literature – 4 titles.

## ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Стаття надається надрукованою на білому папері з використанням лазерного принтера в 1 екземплярі на односторонніх листах, та в електронному вигляді на носії або електронною поштою на адреси: [elsnz@mail.ru](mailto:elsnz@mail.ru) або [dake@i.ua](mailto:dake@i.ua). Об'єм статті не більше 0,5 друкованого листа (8 сторінок формату А4). Надрукований варіант на зворотному боці повинен мати підписи всіх співавторів.

Стаття набирається в текстовому редакторі Word версії 7 та вище і зберігається з розширенням \*.doc. Поля: зліва та права – по 22,5 мм, зверху – 18 мм, знизу – 30 мм.

**Шапка статті** набирається шрифтом Times New Roman (TNR) на всю ширину листа (в одну колонку) с вирівнюванням до лівого краю в наступному порядку:

– в першій строчці вказується УДК (TNR, кегль 12, начертання напівжирне), інтервал перед 0 пт, після – 12 пт;

– в другій строчці вказуються прописними буквами прізвище, ініціали автора (авторів), в дужках строчними буквами – місце роботи, місто, для іноземних авторів – назва країни (TNR, кегль 12, начертання світле), інтервал перед 0 пт, після – 12 пт;

– в третій строчці вказується прописними буквами назва статті (TNR, кегль 14, начертання напівжирне), інтервал перед 0 пт, після – 12 пт;

**Основний текст статті** розташовується в дві колонки однакової ширини з відстанню між колонками 0,5 см, шрифтом TNR, строчними буквами, начертання світле, кегль 11.

Розстановка переносів автоматична, з використанням словника алгоритмів переносів для конкретної мови публікації, розмір переносу прирівнюється до розміру дефісу (0,63). Допускається до 5 переносів в сусідніх строках підряд. В тексті не повинно бути «жорстких» переносів.

Абзацний відступ на 0,5 см від початку строки, однаковий по всій статті. Вирівнювання абзаців – по ширині, міжстрочний інтервал – одинарний, інтервал перед та після – 0 пт. Абзаци один від одного не відокремлюються. Висячі строки – початкова строчка абзацу, яка стоїть в колонці остання, або кінцева строчка абзацу, яка стоїть перша в колонці, не допускаються.

Заголовки набираються шрифтом TNR, строчними буквами, начертання напівжирне, кегль 11. Відступу першої строки 0,5 см, вирівнювання по лівому краю. Від попереднього тексту підзаголовки відокремлюється інтервалом 6 пт, наступного – 6 пт.

В набраному тексті не повинно бути букв і знаків з шрифтів інших гарнітур та кеглів. Не допускається заміна печатного знака іншим, схожим по написанню.

Правила набору таблиць, ілюстрацій, формул та використаної літератури наведені на сайті університету [www.diit.edu.ua](http://www.diit.edu.ua), в розділі «Сайти підрозділів», «Редакційно-Видавничий Відділ».

### **Порядок надання матеріалу до публікації**

1. Стаття має бути оформлена відповідно до вище вказаних вимог.

2. Стаття приймається тільки за наявності експертного висновку і рецензії з рекомендацією до публікації. Якщо в авторський колектив входить д.т.н., рекомендації для публікації не потрібно. В інших випадках для публікації обов'язкова рекомендація доктора наук.

3. Анотації наводяться окремим файлом на трьох мовах (TNR, кегль 11, начертання світле).

4. Відомості про авторів надаються окремим файлом в довільній формі, але обов'язково повинні включати повні прізвище, ім'я і по батькові, місце роботи, посаду, контактні телефони, e-mail (якщо є).

5. Рішення про публікацію матеріалу статті ухвалює редакційна колегія.

6. Прийняті в друк матеріали авторам не повертаються.

7. В разі невідповідності вказаним вимогам, стаття до публікації не приймається.

---

**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)



ООО «Симферопольский электротехнический завод» является одним из старейших электротехнических предприятий в системе железнодорожного транспорта, завод образовался в 1945 году, занимается изготовлением продукции для электрификации железных дорог Украины и стран СНГ.

За все годы деятельности завод разработал, освоил и ведет выпуск более 100 наименований промышленной продукции для обслуживания и работы систем электрификации и электроснабжения электрифицированных железных дорог как переменного так и постоянного тока. Номенклатура основных групп изделий выпускаемых заводом:

1. Устройства по обслуживанию контактной сети и линий электроснабжения
2. Вакуумные выключатели
3. Изоляторы и устройства защиты от напряжения
4. Привода, разъединители и устройства управления
5. Арматура контактной сети
6. Трансформаторы
7. Трансформаторные подстанции
8. Посты секционирования и параллельного соединения контактной сети постоянного и переменного тока.
9. Товары народного потребления



Одним из важнейших направлений деятельности завода является улучшение качества продукции, учитывая повышенные требования к безопасности специфическим условиям эксплуатации оборудования. Вся изготавливаемая продукция подлежит предъявлению ОТК для контроля качества: проведению приемосдаточных испытаний и приемочному контролю.

На заводе внедрена система менеджмента и качества ISO 9001-2000 и завод сертифицирован по этой системе в органах Госстандарта Украины. Вся продукция имеет сертификаты соответствия Украины. За последние годы заводом получено 5 патентов на изобретение. На сегодняшний день продукция ООО «Симферопольский электротехнический завод» по соотношению цены и качества вполне конкурентно способна на территории стран СНГ, что позволяет успешно сотрудничать с железными дорогами Украины, России, Беларуси, Казахстана, Узбекистана, Грузии и Азербайджана.

***Приглашаем к взаимовыгодному сотрудничеству все заинтересованные организации и предприятия.***

***С уважением, руководство ООО "Симферопольский электротехнический завод"***