УДК 621.311 **DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.165.2016.87737**

ДОСЛІДЖЕННЯ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ АГРЕГАТІВ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ БЛОЧНО-МОДУЛЬНИХ ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

Канд. техн. наук О. Д. Супрун, асист. Ю. О. Семененко

ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АГРЕГАТОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Канд. техн. наук А. Д. Супрун, ассист. Ю. А. Семененко

STUDY EMERGENCY OPERATION AGGREGATES OF UNINTERRUPTED NOURISHMENT MODULAR TRACTION SUBSTATIONS

Ph.D., associate professor O. D. Suprun, assist. Y. O. Semenenko

У даному дослідженні вирішено актуальне науково-технічне завдання вдосконалювання резервних джерел живлення блочно-модульних тягових підстанцій, що полягає в забезпеченні необхідних показників якості електричної енергії в аварійних режимах роботи агрегатів безперебійного живлення.

Встановлено, що відомі агрегати безперебійного живлення в ряді режимів, особливо в режимах зникнення напруги мережного вводу, не забезпечують безперебійність електропостачання з підтримкою необхідних показників якості електричної енергії.

Запропоновано методику розрахунку провалів напруги й кидків струму в аварійних режимах роботи агрегатів безперебійного живлення. Результати розрахунків, виконаних з використанням запропонованої методики, дозволили встановити припустимі діапазони

зміни параметрів режиму роботи зовнішньої мережі й припустимих значень збурювань, для обмеження яких запропоновано ряд заходів, серед яких основними є реактування мережного вводу.

Обґрунтованість результатів досліджень підтверджена експериментально за допомогою математичного моделювання.

Ключові слова: *коротке замикання, система електропостачання, агрегат безперебійного живлення, електромагнітні перехідні процеси, математична модель, шини гарантованого живлення.*

В данном исследовании решено актуальное научно-техническое задание совершенствования резервных источников питания блочно-модульных тяговых подстанций, которое заключается в обеспечении необходимых показателей качества электрической энергии в аварийных режимах работы агрегатов бесперебойного питания.

Установлено, что известные агрегаты бесперебойного питания в ряде режимов, особенно в режимах исчезновения напряжения сетевого ввода, не обеспечивают бесперебойность электроснабжения с поддержкой необходимых показателей качества электрической энергии.

Предложена методика расчета провалов напряжения и бросков тока в аварийных режимах работы агрегатов бесперебойного питания. Результаты расчетов, выполненные с использованием предложенной методики, позволили установить допустимые диапазоны изменения параметров режима работы внешней сети и допустимых значений возмущений; для ограничения предложены ряд мер, среди которых основным является реактирование сетевого ввода.

Обоснованность результатов исследований подтверждена экспериментально с помощью математического моделирования.

Ключевые слова: *короткое замыкание, система электроснабжения, агрегат бесперебойного питания, электромагнитные переходные процессы, математическая модель, шины гарантированного питания.*

In this study relevant scientific resolved TOR improve standby power block modular traction substations, which is to ensure the required quality parameters of electric power in emergency operation units of uninterruptible power supply.

During the studies found that certain devices, uninterruptible power supply in a number of modes, particularly in the modes of power failure the network input, do not provide uninterrupted power supply to support the required quality parameters of electricity.

In work the method of calculation failures of voltage and the current surge in emergency operation of the uninterruptible power supply units. The results of calculations performed using the proposed techniques have established acceptable ranges changes the profile of the external network and permissible values perturbation to limit which proposed a number of measures, among which are the main reaktuvannya AC input.

The validity of research results confirmed experimentally using mathematical modeling.

Keywords: *short circuit, power supply system, an uninterrupted power supply unit, electromagnetic transients, mathematical model, guaranteed power supply bus.*

Вступ. У процесі вирішення завдань забезпечення необхідних показників якості електричної енергії в аварійних режимах роботи агрегатів безперебійного живлення було встановлено, що введення захисту роторних кіл не дозволяє вирішити завдання підвищення якості напруги на шинах гарантованого живлення [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Досягнуті в останні роки

успіхи у впровадженні сучасних технічних заходів на електрифікованих залізницях, таких як мікропроцесорні системи керування, при будівництві нових швидкісних ліній перспективним рішенням [4, 5] є установлення на тягових підстанціях агрегатів безперебійного живлення [5-7]. Це дозволяє реалізувати живлення відповідних споживачів власних потреб без переривання синусоїди живлячої напруги.

Визначення мети та задачі досліджень. Завдання з підвищення якості напруги на шини гарантійного живлення може бути вирішено реактуванням мережного вводу, переведенням електричної машини в режим синхронного компенсатора й зміною структури регулятора збудження при роботі електричної машини в режимі двигуна.

Основна частина дослідження. Реактування мережного вводу забезпечує підвищення якості напруги як у статичних, так і динамічних режимах. Схема системи електропостачання, у якої мережний ввід реактований, наведена на рис. 1. Дійсна величина відхилення напруги S_U на шинах гарантованого живлення при живленні від мережного вводу визначається в такий спосіб:

$$S_U = \frac{P_c \cdot r_н + O_н \cdot X_\Sigma}{U}, \qquad (1)$$

де $P_c = P_н + P_м$ – сумарна активна потужність навантаження шин гарантованого живлення $P_н$ і електричної машини;

$r_н$ – активний опір навантаження;

$Q_н$ – реактивна потужність навантаження шин гарантованого живлення;

$X_\Sigma = X_р + X_т + X_н$ – сумарний реактивний опір реактора $X_р$, силового трансформатора $X_т$ і навантаження $X_н$.

Легко побачити, що у випадку, коли електрична машина в складі системи АСГЖ перезбуджена й генерує реактивну потужність $Q_м = Q_н$, величина спадання напруги S_U знижується до величини $\frac{P_c \cdot r_н}{U}$.

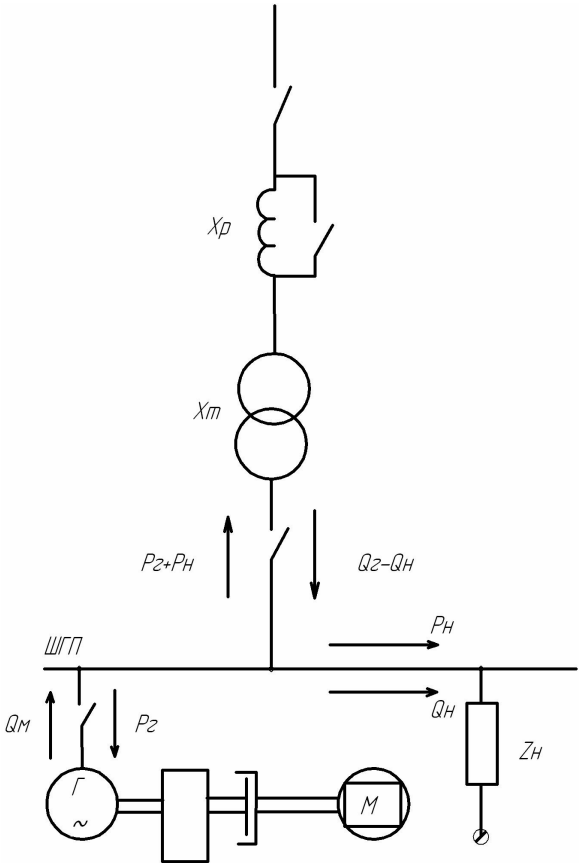

Рис. 1. Схема системи електропостачання

Природно також, що зміни величини реактивного навантаження $Q_н$ у цьому випадку не буде викликати зміни напруги на шинах гарантованого живлення. Окрім того, реактування мережного вводу забезпечить компенсуючий ефект, який є таким: опір реактора зменшує коливання напруги на шинах гарантованого живлення при коливаннях напруги мережного вводу.

Дійсно, за наявності реактора величина відхилень напруги $\Delta U_{ШГЖ}$ на шинах гарантованого живлення визначається в такий спосіб:

$$S_{U\,ШГП} = \frac{S_{Uc} \cdot \sqrt{X_н^{\,2} + r_н^{\,2}}}{\sqrt{\left(X_н + X_T + X_p\right)^2 + r_н^{\,2}}}\,, \qquad (2)$$

де $S_{U\ c}$ – відхилення напруги зовнішньої мережі.

З формули (2) маємо, що реактування мережного вводу підвищує якість напруги на шинах гарантованого живлення. Крім того, введення реактора дозволяє виключити небажаний перехід електричної машини в ємнісний квадрант.

У динамічних режимах роботи електричної машини, особливо в режимах короткого замикання на мережному вводі, введення реактора дозволяє обмежити величину струму короткого замикання, а отже, і знизити величину провалу напруги на шинах гарантованого живлення. При цьому відповідним підбором опору реактора можна забезпечити зниження напруги на шинах гарантованого живлення при короткому замиканні мережного вводу до величини не менше, ніж 0,75 $U_{ном}$, припустимої для короткочасної надійної роботи ЕОМ.

Для вибору опору реактора розглянемо характер протікання перехідних процесів електричної машини при короткому замиканні на мережному вводі. При цьому у зв'язку з тим, що величина навантаження шин гарантованого живлення в момент виникнення короткого замикання може бути різною, величину опору реактора будемо вибирати виходячи з того, що навантаження шин гарантованого живлення близько до мінімального, відповідного найнебезпечнішому, а отже, і обраному в якості розрахункового режиму холостого ходу. Для обраного розрахункового режиму, схема якого наведена на рис. 2, використовуючи рівняння [4] та допущення про сталість потокозчеплень на початковій стадії перехідного процесу, одержимо

$$\begin{aligned} \left(X_T + X_p\right) \cdot i_{qy_{кз}} &= -i_{q0} \cdot X_q \\ -\left(X_T + X_p\right) \cdot i_{dy_{кз}} &= i_{d0} \cdot X_d + i_{f0} \cdot X_{ad} \end{aligned}\,, \qquad (3)$$

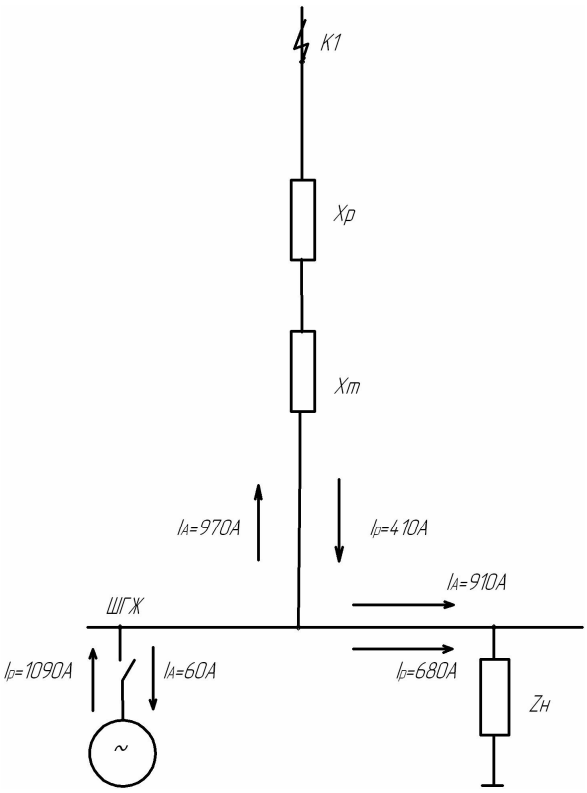

Рис. 2. Розрахункова схема системи електропостачання

З формули (3) випливає, що стале значення проекцій струму на координатні осі d і q у режимі короткого замикання на мережному вводі буде дорівнювати

$$\begin{aligned} i_{qy_{кз}} &= -i_{q0} \cdot \frac{X_q}{X_T + X_p} \\ i_{dy_{кз}} &= -\frac{i_{dc} X_d + i_{f0} X_{ad}}{X_T + X_p} \end{aligned} \qquad (4)$$

Використовуючи отримані співвідношення та векторну діаграму електричної машини для розглянутого режиму (рис. 3), визначимо величину напруги на шинах гарантованого живлення з таких виразів:

$$U\cos\theta = E - I_{dy_{кз}} X_d ;$$

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{I_{xq}}{U} = \frac{I_{xq}}{I\left(X_T + X_p\right)} = \frac{X_q}{X_T + X_p} ;$$

$$\cos\theta = \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2\theta}} ; \qquad (5)$$

$$I_{дукз} = I\cos\theta = \frac{U}{X_T + X_p}\cos\theta.$$

Підставляючи рівняння (5) у формулу (1), одержимо

$$U\cos\theta + \frac{U \cdot X_d}{X_T + X_p}\cos\theta = E . \qquad (6)$$

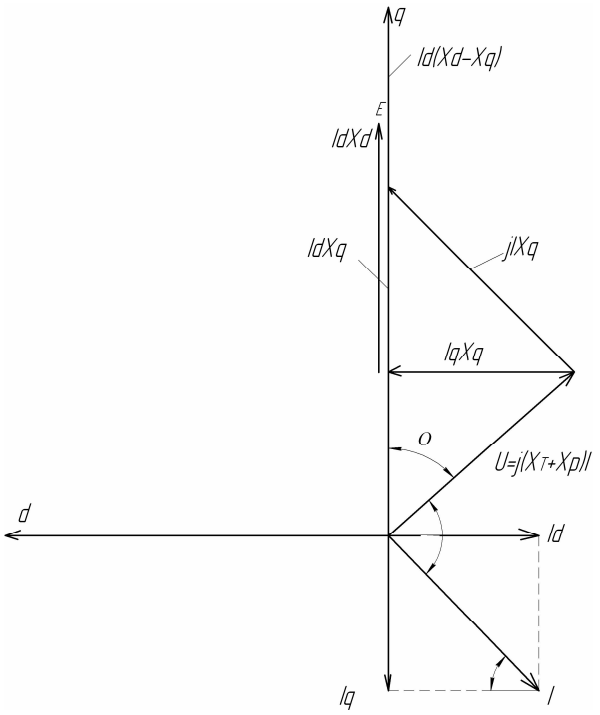

Рис. 3. Векторна діаграма

З формули (6) випливає, що

$$U = \frac{E \cdot \left(X_T + X_p\right) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{X_q}{X_T + X_p}\right)^2}}{\sqrt{X_T + X_p + X_d}} . \qquad (7)$$

Використовуючи формулу (7), можна побудувати для відомих значень X_T, X_d і X_q і відомого попереднього режиму роботи, а отже, і відомої величини E графічну залежність $U = f(X_p)$. Використовуючи цю залежність і допускаючи максимально можливе зниження напруги до 0,75 $U_{ном}$, легко знайти значення X_p, при якому провал напруги на шинах гарантованого живлення не перевищить 25 % $U_{ном}$. У зв'язку з тим, що знайдений опір реактора визначений у системі відносних одиниць для обчислення опору реактора в омах, необхідно виконати перерахунок за формулою

$$X_p = X_{p_{мин}} \cdot \frac{S_{номр}}{S_\delta} \cdot \left(\frac{U_\delta}{U_{номр}}\right)^2 , \qquad (8)$$

де $S_{ном\ р}$, $U_{ном\ р}$ – номінальна потужність і напруга реактора.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Порівняння результатів розрахунку значень струмів у режимах коротких замикань з результатами експериментальних досліджень процесу короткого замикання (осцилограмами наведені на рис. 4-6) [3] підтверджує обґрунтованість запропонованої методики розрахунку.

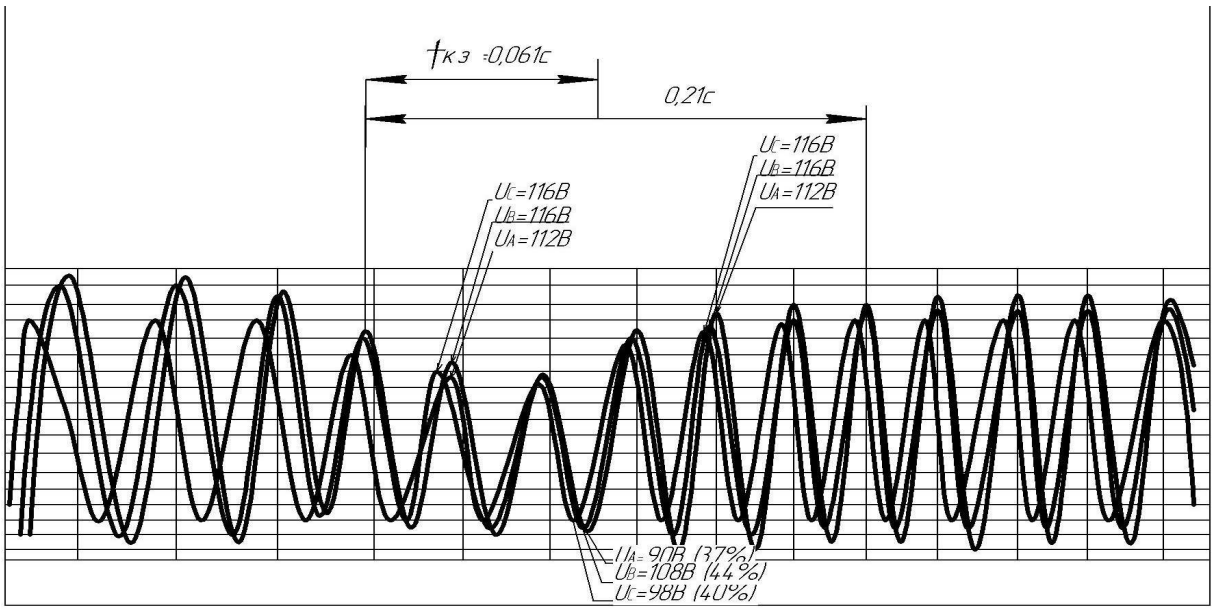

Рис. 4. Трифазне коротке замикання в колі мережного вводу

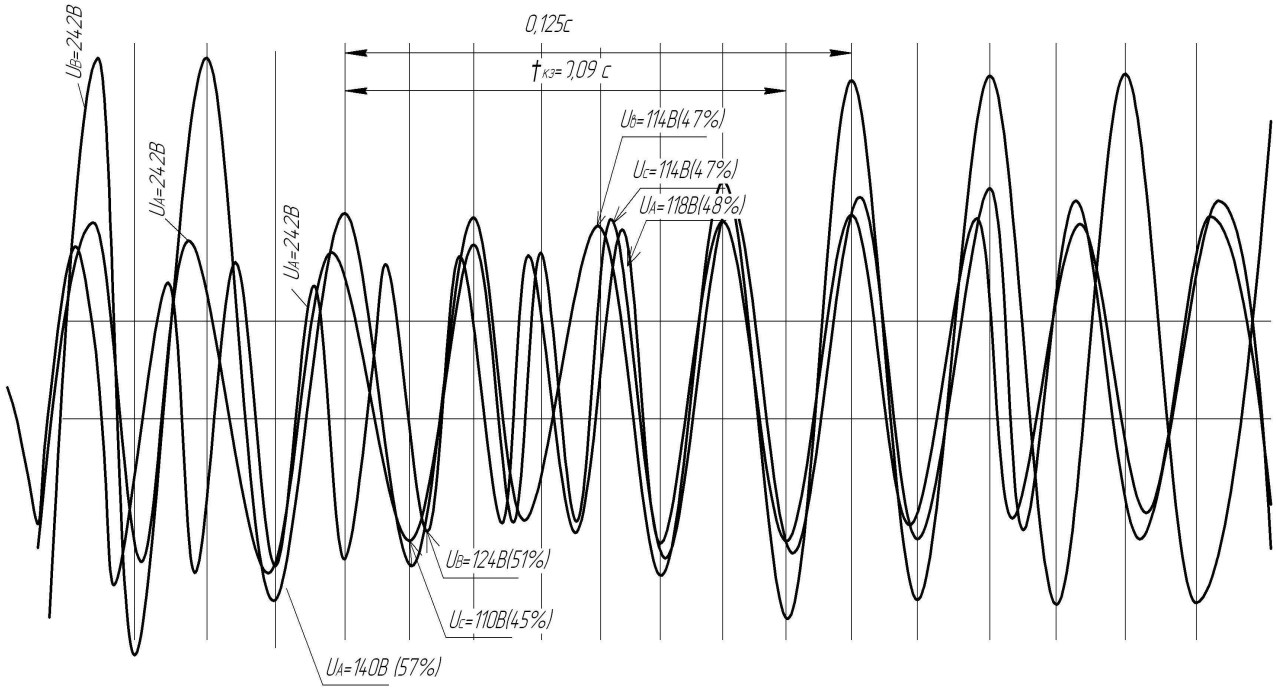

Рис. 5. Трифазне коротке замикання в колі мережного вводу

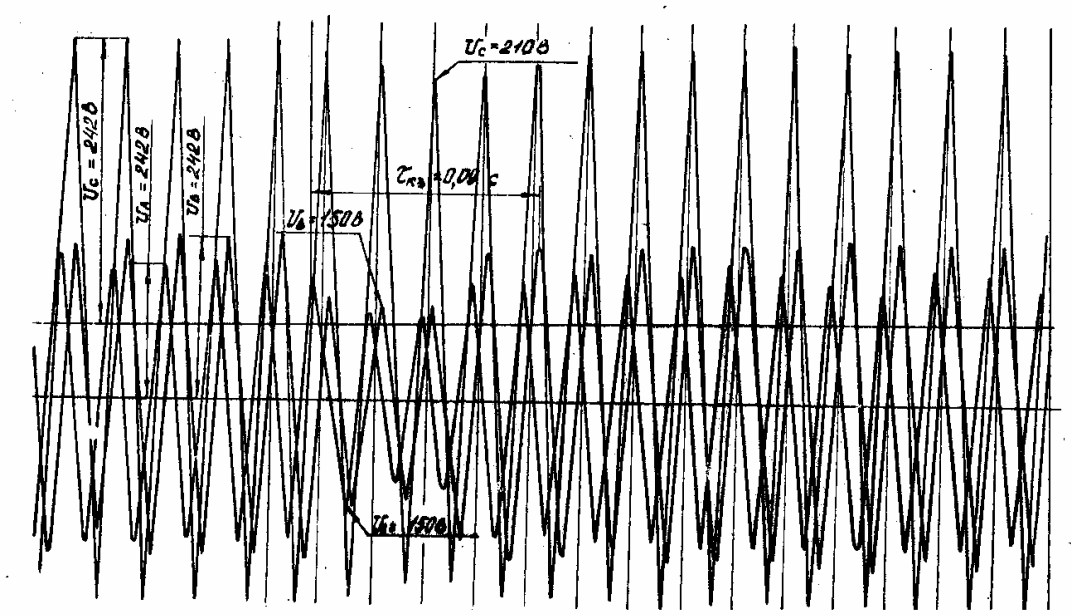

Рис. 6. Двофазне коротке замикання в колі мережного вводу

Список використаних джерел

1. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / К.Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.

2. Долдин, В. М. Электроснабжение нетяговых потребителей железнодорожного транспорта [Текст]: учебн. пособие / В.М. Долдин. – М.: ГОУ, 2010. – 304 с.

3. Тер-Оганов, Э. В. Электроснабжение железных дорог [Текст] / Э.В. Тер-Оганов, А.А. Пышкин. – Екатеринбург, 2014. – 512 с.

4. Марикин, А. Н. Новые технологии в сооружении и реконструкции тяговых подстанций [Текст]: учебн. пособие для вузов ж.-д. трансп. / А.Н. Марикин, А.В. Мизинцев. – М: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте» 2008. – 220 с.

5. Kotelnikov, A. World trends in the development of railway electrification [Text] / A. Kotelnikov, A. Glonti // Rail International. - 2001. - August/September. P. 26 – 35.

6. Котельников, А. В. Электрификация железных дорог. Мировые тенденции и перспективы [Текст] / А.В. Котельников. – М.: Интекст, 2002. – 103 с.

7. Бородулин, Б. М. Симметрирование токов и напряжений на действующих тяговых подстанциях переменного тока [Текст] / Б.М. Бородулин // Вестник Всерос. науч. исслед. ин-та ж.-д. трансп. – 2003. – № 92. – С. 17-24.

8. Шалимов, М. Т. Сомременное состояние и пути совершенствования систем электроснабжения электрических железных дорог [Текст] / М.Т. Шалимов, Г.П. Маслов, Г.С. Магай. – Омск, 2002. – 48 с.

Супрун Олександр Данилович, канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-74. E-mail: slider2012@i.ua.
Семененко Юрій Олександрович, асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-74. E-mail: slider2012@i.ua.

Suprun Oleksandr Danylovych, Ph.D., associate professor Department of electricity, electrical engineering and electrical engineering, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-74. E-mail: slider2012@i.ua.
Semenenko Yuriy Oleksandrovych, assistant Department of electricity, electrical engineering and electrical engineering, Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057) 730-10-74. E-mail: slider2012@i.ua.

Стаття прийнята 30.09.2016 р.