

УДК 621.311

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.10

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ В РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**В. Г. СИЧЕНКО^{1*}, Є. М. КОСАРЕВ¹, О. А. ДАНИЛОВ¹, П. В. ГУБСЬКИЙ¹,
В. А. ЗУБЕНКО², М. М. ПУЛІН³**¹ Кафедра «Інтелектуальні системи електропостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, УКРАЇНА² ТОВ «Автоматика-сервіс», Київ, УКРАЇНА³ Регіональна філія «Львівська залізниця», Відокремлений підрозділ «Служба електропостачання», ПАТ «Укрзалізниця», Львів, УКРАЇНА

* email: elpostz@i.ua

АНОТАЦІЯ Впровадження альтернативних джерел електричної енергії у систему тягового електропостачання розподіленого типу підвищує енергетичну ефективність та надійність функціонування, але при цьому змінюється характер протікання енергообмінних процесів, що обумовлює необхідність врахування виникаючих змін струморозподілу для налаштування уставок релейного захисту. Така необхідність викликається збільшенням струмів короткого замикання в розподіленій системі живлення електрорухомого складу за рахунок появи в системі додаткових джерел енергії. Для виключення хибних спрацьовувань та забезпечення селективності необхідно застосовувати мікропроцесорні комплекси релейного захисту, які дозволяють більш точно встановлювати уставки спрацьовування швидкодіючих вимикачів.

Ключові слова: система тягового електропостачання; постійний струм; розподілене живлення; сонячна електростанція; релейний захист.

FEATURES OF RELAY PROTECTION FUNCTION IN DISTRIBUTED TRACTION POWER SUPPLY SYSTEMS**V. SYCHENKO^{1*}, Ye. KOSARIEV¹, O. A. DANYLOV¹, P. V. HUBSKYI¹,
V. A. ZUBENKO², M. M. PULIN³**¹ Department "Intelligent Electrification Systems", Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnipro, UKRAINE² Ltd. «Automatics-service», Kyiv, UKRAINE³ Regional branch «Lvivska zaliznitsa», Separate subdivision «Power supply service», PJSC «Ukrzaliznytsya», Lviv, UKRAINE

ABSTRACT The implementation of alternative sources of electric energy into a distributed traction power supply system improves the energy efficiency, but it is necessary to solve a number of tasks: to determine their impact on the stability of the traction substations, traction and other consumers connected to the traction substation buses taking into account allowable work modes of consumers; to take into account the features of connected generation types to electric railways networks; to provide the necessary reliability level of power supply for consumers with given qualitative characteristics. In the traction network with reinforcing points, the nature of the flow of energy-exchange processes changes, which makes it necessary to take into account the forthcoming changes in the distribution to adjust the settings of relay protection. Such a necessity is caused by increased short-circuit currents in the distributed traction power supply system due to the appearance of the additional energy sources in the system. In order to exclude false positives and provide selectivity, it is necessary to apply microprocessor relay protection complexes that allow setting more accurately the settings for the operation of high-speed circuit-breaker. In order to increase the reliability of functioning, it is useful to use the remote interlocking devices that at the presence of protection dead zones, inevitably eliminate the feeding of the short circuit point in the case of failure of feeder high-speed circuit-breakers.

Keywords: traction power supply system; direct current; distributed power supply; solar power station; relay protection.

Вступ

На сьогоднішній день технічні можливості для модернізації системи тягового електропостачання (СТЕ) з централізованим живленням сягнули своєї межі, тому очевидною є необхідність переходу до концепції розподіленого живлення тягової мережі. При збереженні напруги в тяговій мережі 3 кВ сформовані декілька підходів до побудови енергетичних каналів в СТЕ з розподіленим живленням, в тому числі, і з застосуванням джерел розподіленої генерації (ДРГ).

При впровадженні ДРГ в систему тягового електропостачання постійного струму необхідно вирішувати низку завдань: визначення їх впливу на стійкість роботи тягових підстанцій, тягових і інших споживачів, приєднаних до шин тягової підстанції з урахуванням допустимих режимів роботи споживачів, врахування особливостей приєднання типів генерації до електричних мереж залізниць, забезпечення необхідного рівня надійності електропостачання споживачів з заданими якісними характеристиками і т. і. [1].

Розподілена генерація в електроенергетичних системах ускладнює систему релейного захисту і

автоматики, протиаварійного управління електроенергетичною системою. Ускладнюється диспетчерське управління, його функції зміщуються на розподільну мережу. Розподільна мережа набуває рис основної мережі з властивими для неї проблемами стійкості і необхідністю її оснащення пристроями автоматики і регулювання [2-4]. Наявність розподіленої генерації в розподільній мережі дозволяє стабільніше підтримувати рівні напруги у вузлах за рахунок можливостей цих генераторів по генеруванню реактивної потужності (на відміну від традиційних розподільних мереж, в яких втрати напруги тим більше, чим далі від живлячої підстанції високої напруги). При відмові живлячої підстанції високої напруги наявність ДРГ в розподільній мережі дозволяє забезпечити надійне електропостачання багатьох споживачів.

Саме ці фактори привели до теоретичних досліджень щодо застосування ДРГ у системах тягового електропостачання розподіленого типу [5, 6], а саме, сонячних електростанцій (СЕС). В розподіленій системі електропостачання внаслідок того, що відстані між підсилюючими (або перетворювальними) пунктами (ПП) істотно менші, ніж відстані між тяговими підстанціями (ТП) в схемі централізованого живлення, змінюються умови протікання енергообмінних процесів, поліпшуються умови виявлення віддалених коротких замикань в тяговій мережі.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження особливостей робочих та аварійних режимів у системі тягового електропостачання постійного струму 3,3 кВ розподіленого типу з застосуванням сонячних електростанцій з метою розробки рекомендацій для поліпшення роботи релейного захисту в умовах збільшення інтенсивності тягових навантажень.

Результати порівняльного моделювання режимів роботи систем тягового електропостачання

Функціонування СТЕ, як відомо, відбувається в нормальному, вимушеному та аварійному режимах. Розрахунок енергетичних показників системи тягового електропостачання у нормальному та вимушеному режимах для централізованого (ЦЖ) та розподіленого живлення (РЖ) проводився на прикладі електрифікованої ділянки постійного струму, наведеної на рис. 1, 2.

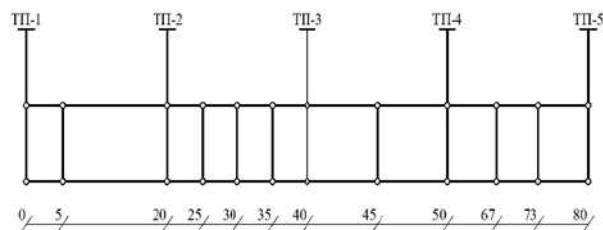


Рис. 1 – Схема розрахункової ділянки у нормальному та вимушеному режимах роботи при централізованому живленні

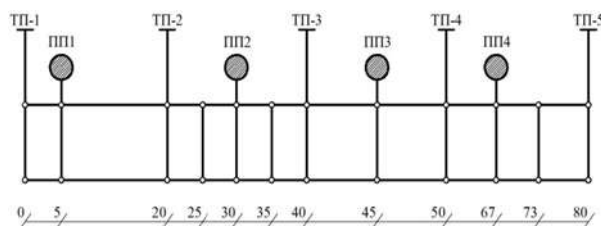


Рис. 2 – Схема розрахункової ділянки у нормальному та вимушеному режимах роботи при розподіленому живленні

Вимушений режим роботи системи тягового електропостачання представляє собою перехід однієї з тягових підстанцій в режим поста секціонування. Для розрахунку приймалися наступні вихідні дані:

- випрямлячі на тягових підстанціях працюють за дванадцятипульсною схемою випрямлення, по одному в роботі (встановлена потужність 12,5 МВт);
- тягова мережа М120+2МФ100+А185+Р65 однакова по всій довжині розрахункової ділянки;
- підсилюючі пункти однотипні, мають максимальний вихідний струм 500 А (встановлена потужність 1,5 МВт);
- розрахунок виконувався для графіка руху з трьох пар поїздів з однаковими споживаними струмами.

Для розрахунку аварійного режиму точка короткого замикання (КЗ) приймалась на 43 км. Розрахунок проводився для централізованого (рис. 3) та розподіленого живлення (рис. 4).

При розрахунку ЦЖ максимальне значення струму в точці КЗ складає 26,979 кА, мінімальне – 21,956 кА. Струми тягових підстанцій наведені в табл. 2.

Таблиця 1 – Результати розрахунку енергетичних показників

Режими роботи	Схема живлення	Значення напруги, В			Втрати енергії, кВт-год
		мінімальне	середнє	максимальне	
Нормальний	Централізоване	2480	2983	3327	3535,7
	Розподілене	2677	3141	3439	1477,5
Вимушений	Централізоване	1597	2369	3317	7232,2
	Розподілене	2232	2614	3464	2379,5

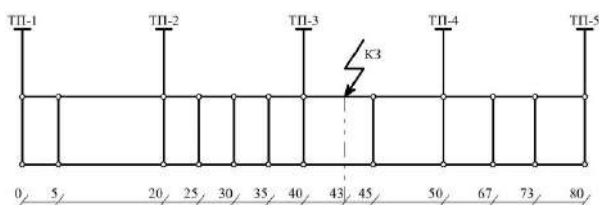


Рис. 3 – Розрахункова схема короткого замикання у централізованій схемі живлення

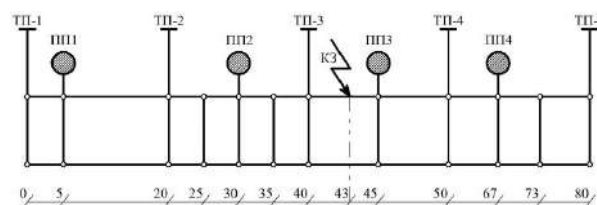


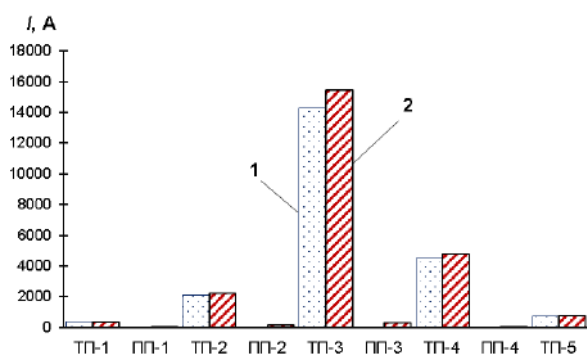
Рис. 4 – Розрахункова схема короткого замикання у розподіленій схемі живлення

Таблиця 2 – Струми тягових підстанцій при короткому замиканні

№ ТП та ПП	Централізоване живлення		Розподілене живлення	
	$I_{КЗ_{max}} = 26979 \text{ А}$	$I_{КЗ_{min}} = 21956 \text{ А}$	$I_{КЗ_{max}} = 27538 \text{ А}$	$I_{КЗ_{min}} = 24079 \text{ А}$
ТП-1	431.7	351.3	413.1	361.2
ПП-1	-	-	15.4	13.5
ТП-2	2563.0	2085.82	2533.5	2215.3
ПП-2	-	-	164.8	144.1
ТП-3	17536.4	14271.4	17679.4	15458.7
ПП-3	-	-	358.0	313.0
ТП-4	5530.7	4501.0	5452.5	4767.6
ПП-4	-	-	63.0	55.0
ТП-5	917.3	746.5	881.2	770.5

При розрахунку РЖ максимальне та мінімальне значення струму в точці КЗ зросло та досягло значень 27,538 кА і 24,079 кА відповідно. Зростання струму короткого замикання відбувається за рахунок генерації в систему додаткової потужності підсилюючими пунктами. Через установку додаткових джерел живлення також змінився струморозподіл в тяговій мережі. Струми тягових підстанцій та підсилюючих пунктів наведені в таблиці 2. Розподіл струмів для різних схем живлення наведено на рис. 5.

Як слідує з аналізу табл. 2 та рис. 5 зміна в перерозподілі струмів при застосуванні підсилюючих пунктів незначна. Дана обставина обумовлена великою різницею між встановленими потужностями тягових підстанцій і підсилюючих пунктів та, відповідно, різницею їх внутрішнього опору. Тобто, підсилюючі пункти приймають участь в підживленні точки КЗ, але основне живлення відбувається від тягових підстанцій.

Рис. 5 – Зміна розподілу струмів:
1 – централізоване живлення;
2 – розподілене живлення

Це явище необхідно враховувати при практичних розрахунках систем тягового електропостачання з розподіленими сонячними генераторами та приймати необхідні заходи щодо забезпечення селективності спрацьовування пристроїв релейного захисту на тягових підстанціях та пунктах підсилення.

Особливості функціонування захисту розподіленої мережі

Функції захисту повинні бути направлені на захист системи тягового електропостачання з розподіленою генерацією та забезпечення стабільної роботи зовнішньої електричної мережі загального призначення, при цьому не повинна порушуватися робота пристроїв релейного захисту та виключатися хибні спрацьовування [7-10]. Основним пристроєм для захисту контактної мережі постійного струму є швидкодіючі вимикачі (ШВ). Складність налаштування захисту обумовлена невеликою різницею між максимальними навантаженнями і мінімальними струмами КЗ. На практиці це приводить до значної кількості хибних спрацьовувань, що погіршує надійність електропостачання і прискорює знос комутаційного обладнання.

Захист повинен працювати надійно і селективно. В нашому випадку, при заданій точці КЗ повинен відключитися ШВ на ТП3 і на посту секціонування (ПС) - точка ПП3. Вимикач, встановлений на ТП4 є резервним по умовам селективності. Для підвищення надійності функціонування розподіленої СТЕ в даному випадку можуть бути застосовані пристрої телеблокування

між вимикачами, встановленими із обох сторін фідерної зони [11]. Телеблокування, окрім іншого, при наявності мертвих зон захисту, усуває неминуче підживлення місця короткого замикання при відмові фідерних швидкодіючих вимикачів.

Чим більша різниця між максимальними робочими струмами і мінімальними струмами КЗ, тим з більшою чутливістю працює захист, тобто зменшується кількість хибних спрацьовувань. Як видно з розрахунків (табл. 2), мінімальні струми КЗ при розподіленому живленні більші, ніж при звичайному централізованому. Крім того, при застосуванні ДРГ, зменшуються робочі струми, які протікають по фідерам підстанції, за рахунок додаткового живлення від пунктів підсилення. З цього можна зробити висновок, що використання додаткових джерел розподіленої генерації поліпшує роботу захисту тягової мережі постійного струму.

Уставка ШВ налаштовується механічними засобами з низькою точністю і, крім цього, вона залежить від стабільності струму "утримуючої" котушки. Тому налаштувати струм відключення ШВ з точністю меншою 100 А достатньо проблематично. Виходячи з цього є сенс використовувати мікропроцесорні захисти, які дозволяють достатньо просто налаштовувати струм уставки з великою точністю [12].

Найбільше розповсюдження для захисту тягової мережі постійного струму 3 кВ в Україні отримали цифрові захисти МРЗС-05А-02 (ПО "Київприлад") і ЦЗАФ-3,3 (зараз ІнТер-3,3 ТОВ "НПЕФА-ЕНЕРГО"). Ці багатофункціональні мікропроцесорні захисти, незважаючи на однакові характеристики, мають ряд відмінностей. Це, насамперед, обумовлено тим, що комплект ЦЗАФ-3,3 зразу проектувався для захисту контактної мережі постійного струму з урахуванням специфіки режимів роботи тягового електропостачання. Конструктори намагалися не тільки реалізувати в одному пристрої відомі захисти фідерів постійного струму, але і поліпшити їхні характеристики. Комплект МРЗС-05А-02 створювався пізніше на базі багатофункціонального програмованого мікропроцесорного захисту МРЗС-05. Комплект МРЗС-05 має гнучку архітектуру внутрішніх зв'язків, що дає можливість активувати з набору необхідні захисти і потім програмувати логіку їхньої взаємодії, можна призначати входам і виходам різні функції.

Обидва цифрові комплекти мають діапазон регулювання уставки по струму від 500 до 8000 А. МРЗС-05А-02 дозволяє налаштовувати струм уставки з дискретністю 1 А, а ЦЗАФ-3,3 - з дискретністю 50 А. Таким чином, при експлуатації розподіленої СТЕ, застосування мікропроцесорних захистів дозволяє підвищити селективність, завдяки більш точному налаштуванню.

Висновки

Застосування розподіленої системи тягового електропостачання підвищує енергетичну ефективність та дозволяє забезпечити необхідний режим напруги у вимушеному режимі роботи.

При застосуванні розподіленого живлення зменшуються робочі струми фідерів тягових підстанцій, змінюється струморозподіл в тяговій мережі та зростають струми короткого замикання за рахунок генерації в систему додаткової потужності підсилюючими пунктами, що дозволяє покращити функціонування релейного захисту тягової мережі постійного струму.

Для забезпечення більш точних рівнів уставок швидкодіючих вимикачів в розподілених системах електропостачання необхідно застосовувати мікропроцесорні захисти. Підвищити надійність функціонування захисту в розподіленій системі живлення можливо за рахунок пристроїв телеблокування, які при наявності мертвих зон захисту, усувають неминуче підживлення місця короткого замикання при відмові фідерних швидкодіючих вимикачів.

Список літератури

1. **Сиченко, В. Г.** Інтеграція сонячних електростанцій у систему тягового електропостачання постійного струму / **В. Г. Сиченко** // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – 2015. – № 12 (1121). – С. 364-368.
2. Централизованная и распределенная генерация – не альтернатива, а интеграция. URL: http://energystrategy.ru/projects/Energy_21/4-2.pdf
3. **Eissa, M. M.** New protection principle for smart grid with renewable energy sources integration using WiMAX centralized scheduling technology / **M. M. Eissa** // *International journal of electrical power & energy systems*. – 2018. – Volume 97. – p. 372-384.
4. **Ahmadzadeh-Shooshtari, B.** Comprehensive investigation of the voltage relay for anti-islanding protection of synchronous distributed generation / **B. Ahmadzadeh-Shooshtari, M. E. Golshan, I. Sadeghkhan** // *International transactions on electrical energy systems*. – Volume 27. – Issue 11. – p. 2403.
5. **Sychenko, V. G.** Improving the quality of voltage in the system of traction power supply of direct current / **V. Sychenko, D. Bosiy, E. Kosarev** // *The archives of transport*. 2015. – Volume 35, Issue 3. – p. 63-70.
6. Система преобразования энергии, генерируемой в полосе отчуждения железной дороги с помощью солнечных панелей / **Ю. П. Гончаров, В. Г. Сыченко, Е. Н. Косарев [и др.]** // *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки : сб. науч. тр.* – 2015. – № 30, т. 2. – С. 98 – 108.
7. Расчет релейной защиты и систем автоматики в электроэнергетике. / **Е. И. Сокол, О. Г. Гриб, [и др.]** // Харьков: ФОП Панов А. М., 2017. – 412 с.
8. **Фигурнов, Е. П.** Релейная защита / **Е. П. Фигурнов**. – К.: Транспорт Украины, 2004. – 565 с.
9. **Telukunta, V.** Protection Challenges Under Bulk Penetration of Renewable Energy Resources in Power

- Systems: A Review / **V. Telukunta, J. Pradhan, A. Agrawal, M. Singh et al.** // *Csee journal of power and energy systems*. – 2017. – Volume 3, Issue 4. – p. 365-379.
10. **Mokhlis, H.** Progress on Protection Strategies to Mitigate the Impact of Renewable Distributed Generation on Distribution Systems / **H. Mokhlis, A. H. Abu Bakar, J. J. Jamian, S. Sukumar** // *Energies*. – Volume 10, Issue 11. – p. 1864.
 11. Аппаратура автоматики и телемеханики в устройствах энергоснабжения (конструкция, наладка и эксплуатация). / Под ред. Н. Н. Василевского // М.: Транспорт, 1971. – 248 с.
 12. **Данилов, О. А.** Реалізація двозонного захисту фідерів тягових підстанцій постійного струму 3,3 кВ на мікропроцесорному комплекті. / **О. А. Данилов, Б. А. Рябокін** // *Електрифікація транспорту*. – 2011. – №2. – с.41-43.
- islanding protection of synchronous distributed generation. *International transactions on electrical energy systems*. **27**, 11, 2403.
5. **Syichenko, V. G., Bosiy, D., Kosarev, E.** Improving the quality of voltage in the system of traction power supply of direct current. *The archives of transport*, 2015, **35**, 3, 63-70.
 6. **Goncharov, Iu. P., Sokol, E. I., Zamaruev, V. V., et al.** Sistema preobrazovaniya enerhiy, heneryuemoy v polose otchuzhdeniyya zheleznoy dorohy s pomoshch'yu solnechnykh paneley [Transformation of power generated in railways dispossession belt by solar energy]. *Bulletin of Pryazovskyi State Technical University*, 2015, **30**, 2, 98 – 108.
 7. **Sokol, E. Y., Hryb, O. H.** Paschet releynoy zashchyty y system avtomatyky v elektroenerhetyke. Kharkiv: IE Panov A. M, 2017. - 412 p.
 8. **Fyurnov, E. P.** Releynaya zashchyta [Relay protection]. Kiev: Transport of Ukraine, 2004. - 565 p.
 9. **Telukunta, V., Pradhan, J., Agrawal, A., Singh, M., Srivani, S. G.** Protection Challenges Under Bulk Penetration of Renewable Energy Resources in Power Systems: A Review. *Csee journal of power and energy systems*, 2017, **3**, Issue 4, 365-379
 10. **Mokhlis, H., Abu Bakar, A. H., Jamian, J. J., Sukumar, S.** Progress on Protection Strategies to Mitigate the Impact of Renewable Distributed Generation on Distribution Systems. *Energies*, **10**, 11, 1864.
 11. **Vasylevskyy N.** Apparatura avtomatyky y telemekhaniky v ustroystvakh enerhosnabzheniyya (konstruktsiyya, naladka y ekspluatatsiyya). M: Transport, 1971. - 248 p.
 12. **Danylov, O. A., Ryabokin', B. A.** Realizatsiya dvozonnoho zakhystu fideriv tyahovykh pidstantsiy postynnoho strumu 3,3 kV na mikroprotsessornomu komplekti. *Transport electrification*, 2011, **2**, 41-43.

Bibliography (transliterated)

Сведения об авторах (About authors)

Сиченко Віктор Григорович – д.т.н., професор, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, завідувач кафедри «Інтелектуальні системи електропостачання»; Дніпро, Україна; elpostz@i.ua.

Victor Sichenko - Professor, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, head of "Intelligent power supply system"; Dnipro, Ukraine; elpostz@i.ua.

Косарев Євген Миколайович – аспірант, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, асистент кафедри «Інтелектуальні системи електропостачання»; Дніпро, Україна; kosarev@e.diit.edu.ua.

Yevhen Kosarev - postgraduate student, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, assistant of the department "Intelligent power supply systems"; Dnipro, Ukraine; kosarev@e.diit.edu.ua.

Данилов Олексій Анатолійович – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, старший викладач кафедри «Інтелектуальні системи електропостачання»; Дніпро, Україна; fduch@ua.fm.

Oleksiy Danilov – Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, senior lecturer of the department "Intelligent power supply systems"; Dnipro, Ukraine; fduch@ua.fm.

Губський Петро Вячеславович – аспірант, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра «Інтелектуальні системи електропостачання»; Дніпро, Україна; peter.gybyskiy@gmail.com.

Petro Gubsky – Postgraduate Student, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Department "Intelligent Electric Supply Systems"; Dnipro, Ukraine; peter.gybyskiy@gmail.com.

Зубенко Василь Анатолійович – ТОВ «Автоматика-сервіс», Київ, Україна; vas@zva.dp.ua.

Vasyl Zubenko – "Automatics-service" Ltd, Kiev, Ukraine; vas@zva.dp.ua.

Пулін Микола Миколайович – Регіональна філія «Львівська залізниця», Відокремлений підрозділ «Служба електропостачання», ПАТ «Укрзалізниця», Львів, Україна.

Mykola Pulin - Regional branch "Lvivska zaliznitsa", Separate subdivision "Power supply service", PJSC "Ukrzaliznytsya", Lviv, Ukraine.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Сиченко, В. Г. Особливості функціонування релейного захисту в розподілених системах тягового електропостачання / **В. Г. Сиченко, Є. М. Косарев, О. А. Данилов, П. В. Губський, В. А. Зубенко, М. М. Пулін** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 70-75. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.10.

Please cite this article as:

Sychenko, V. G., Kosariev, Ye. M., Danilov, O. A., Gubskiy, P. V., Zubenko, V. A., Pullin, M. M. Features of relay protection function in distributed systems of type electrical supply. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 70-75, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.10.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Сыченко, В. Г. Особенности функционирования релейной защиты в распределенных системах тягового электроснабжения / **В. Г. Сыченко, Е. Н. Косарев, А. А. Данилов, П. В. Губский, В. А. Зубенко, Н. Н. Пулин** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 70-75. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.10.

АННОТАЦИЯ Внедрение альтернативных источников электрической энергии в систему тягового электроснабжения распределенного типа повышает энергетическую эффективность и надежность функционирования, но при этом изменяется характер протекания энергообменных процессов, что обуславливает необходимость учета возникающих изменений токораспределения для настройки уставок релейной защиты. Такая необходимость вызывается увеличением токов короткого замыкания в распределенной системе питания электроподвижного состава за счет появления в системе дополнительных источников энергии. Для исключения ложных срабатываний и обеспечения селективности необходимо применять микропроцессорные комплексы релейной защиты, которую позволяют более точно устанавливать уставки срабатывания быстродействующих выключателей.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения; постоянный ток; распределенное питание; солнечная электростанция; релейная защита.

Поступила (received) 05.03.2018