

Л. Л. ГОНЧАРОВА (ДЕТУТ)

Державний економіко-технологічний університет транспорту, кафедра «Автоматизація та комп'ютерно - інтегровані технології транспорту», 03049, Київ - 49, вул. Лукашевича, 19, тел.: 099-288-12-08, ел. пошта: ktarael@vandex.ru

МІКРОПРОЦЕСОРНІ СИСТЕМИ І МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ КОМУТАЦІЙНОГО РЕСУРСУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ ТЯГОВИХ МЕРЕЖ

Постановка проблеми

Рішення комплексної проблеми організації надійності функціонування тягових електричних мереж і оптимізації режимів електроспоживання пов'язано з необхідністю проведення циклу наукових досліджень в сфері інтелектуалізації спектру процедур управління швидкоплинними технологічними процесами електропостачання залізницям. Суттєві можливості сучасних мікропроцесорних засобів і комп'ютерних мереж та інформаційних технологій створили основу для появи нового напрямку «розумної енергетики» і відкрили нові можливості організації інтелектуальних мереж електропостачання в яких найшло відображення сучасних тенденцій ціноутворення, особливостей функціонування швидкоплинних процесів електропостачання, а також використання енергоресурсів включаючи спектр взаємних послуг між суб'єктами ринку електроенергії [1-3]. Організація інтелектуальних тягових електричних мереж базується на нових принципах самовідновлення і саморегуляції, що є основою сучасних SMART Grid – технології які, на сьогоднішній день, є загально-визнаними у світі [2]. В той же час, необхідно відмітити, що на ефективність електропостачання і безаварійність роботи енергосистеми суттєво впливають високі значення параметрів потоку відказів високовольтних комутаційних апаратів, що характеризується, в першу чергу, недостатнім застосуванням мікропроцесорних засобів моніторингу параметрів режимів для проведення аналізу роботоспроможності і прогнозу аварійних ситуацій високовольтних вимикачів [3,4]. Домінуючим, при цьому, є комутаційний ресурс високовольтного апарату який нормується як допустиме число відключень і являється показником надійності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що експлуатація високовольтних вимикачів неможлива без засобів комп'ютерної діагностики яка завдяки моніторингу функціонування забезпечує своєчасно персонал інформацією про фактичний стан комутаційного апарату [2]. Неповнота отриманих первинних інформаційних даних проявляється в сукупності негативних впливів у ви-

гляді збільшенні втрат, погіршенні надійності роботи та неекономічності режимів. В ряді публікацій американських і європейських енергетичних компаній акцентується увага на те, що використання мікропроцесорних засобів моніторингу і діагностики відкриває суттєві можливості удосконалення обслуговування комутаційних апаратів з різним дугогасним середовищем (повітряним, електричним, масляним), зменшити термін технічного обслуговування, зменшити більш як в два рази число їх відказів та об'єктивно регулювати міжремонтні строки по фактичному стану високовольтних вимикачів [2-4]. В умовах значного старіння парку високовольтних комутаційних апаратів, підвищених потоків відмов та несвочасного технічного переозброєння електромереж природним стало питання комп'ютерної інтелектуалізації процедур реєстрації, обробки, передачі і представлення інформації для контролю і діагностики комплексу важливих параметрів вимикачів в процесі комутації під напругою, аналізувати їх роботоспроможність та прогнозувати рівень їх надійності.

Відокремлення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми

Проведена автором сукупність наукових досліджень в предметній області управління і інтелектуалізації процедур керування електропостачанням дозволили зробити висновок, що питанням діагностики експлуатаційного стану комутаційних апаратів, виявленню дефектів в процесі їх функціонування, запобігання відмов, оптимізації технічного обслуговування апаратів в науково-технічній літературі приділено високу увагу в теоретичному і прикладному аспектах. В той же час питанням створення комп'ютерних засобів безперервного моніторингу параметрів режимів роботи високовольтних вимикачів і в першу чергу вузлів та елементів, що мають великий рівень уразливості для контролю поведінки головної контактної мережі та функціональних елементів управління вимикачами – компонентів дугогасильних пристроїв і їх приводів приділено не достатньо уваги.

Мета роботи

Розробка математичних моделей уразливих вузлів високовольтних вимикачів і методів синтезу мікропроцесорних систем моніторингу і визначення комутаційного ресурсу.

Основний матеріал дослідження

До комплексу показників, що є найбільш відповідальними при відображенні експлуатаційного стану високовольтних комутаційних апаратів можна віднести проміжок часу включення і відключення вимикача, тривалості горіння дуги, величина струму, що відключається, залишковий ресурс, наявність повторного загорання. Вищевказані характеристики необхідно контролювати в повітряних, масляних і елегазових вимикачах. Крім того, в деяких повітряних вимикачах необхідно вести постійний контроль вологості газу в дугогасному середовищі, в масляних комутаційних апаратах проводити моніторинг температури і рівня масла, його прозорості, а для елегазових необхідний постійний контроль вологості, щільності, кислотності елегазу концентрації продуктів його розпаду, наявність часткових розрядів і витоку елегазу. Для забезпечення надійності функціонування комутаційних апаратів необхідно проводити під напругою моніторинг комплексу важливих параметрів з врахуванням їх передісторії для оцінки їх технічного стану, аналізу роботоспроможності і прогнозу можливих аварійних режимів. Неповнота зареєстрованих первинних даних в процесі експлуатації може негативно проявитися в погіршенні надійності роботи, збільшенні втрат електроенергії і неекономічності електроспоживання. Тому при створенні сучасних мікропроцесорних засобів моніторингу режимів і визначення комутаційного ресурсу високовольтних вимикачів необхідні обґрунтовані технічні рішення. Для виконання функцій комутації в процесі електропостачання популярними стали елегазові високовольтні апарати підвищеної надійності в яких високі технічні параметри досягаються завдяки використанню в якості ізолюючого середовища інертного елегазу, електроізолюючі властивості якого вищі ніж в повітря майже в три рази. Для забезпечення надійності, довговічності і високого рівня якості роботи комутаційних апаратів розглянемо приклади організацію комп'ютерних засобів проведення під напругою постійного моніторингу сукупності параметрів сучасних елегазових високовольтних вимикачів. В процесі виконання комутаційних процедур елегазовим вимикачем головною проблемою є організація постійного контролю електричного зношення контактів, що необхідно реалізувати від початку t_p розмикання контактів до моменту t_k пов-

ного зникнення струму при виконанні комутаційної операції. Величина R^j , що характеризує електричне зношення контактів в результаті виконання відповідної J комутації може бути визначена згідно виразу [1-3]

$$R^j = \int_{t_s}^{t_a} i^2(t) dt, \quad (1)$$

де $i(t)$ - значень струму, що протікає через контакти елегазового високовольтного вимикача в момент комутації. Повне електричне зношення контактів R^n по кожній фазі високовольтного елегазового вимикача за проведених відповідно n комутаційних процедур може бути визначено наступним чином

$$R^n = \sum_{j=1}^n \int_{t_s}^{t_a} i^2(t) dt. \quad (2)$$

Отримані параметри моніторингу R^j і R^n можуть бути використані для прогнозу критичного запасу R^{kp} комутаційного ресурсу вимикача за допомогою наступної залежності

$$\left| R^{\max} - R^n \right| \leq R^{kp}, \quad (3)$$

де R^{\max} - значення ресурсу, що надається згідно технічних умов, електричного зношення контактів високовольтних елегазових вимикачів.

По аналогії можна визначити критичний час T^{kp} горіння дуги в момент комутації

$$\left| T^{\max} - \tau^g \right| \leq T^{kp}, \quad (4)$$

де T^{\max} - максимальний час горіння дуги, що надається згідно технічних умов; τ^g - час горіння дуги за n комутацій, що визначається згідно виразу

$$\tau^g = \sum_{j=1}^n \tau_j^g. \quad (5)$$

Екстремальні значення струмів в процесі виконання j -ї комутації можуть бути визначені як

$$\begin{aligned} i_{\max}^j &\in i^j(t)_{\max}; \\ i_{\min}^j &\in i^j(t)_{\min}; \\ j &= 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (6)$$

Запас надійності по струму комутаційних апаратів обчислюється згідно

$$\begin{cases} |i_{\max}^j - i_{\max}^3| \leq \varepsilon_1, \\ |i_{\min}^j - i_{\min}^3| \leq \varepsilon_2, \end{cases} \quad (7)$$

де i_{\max}^3, i_{\min}^3 - відомі значення максимального і мінімального струму, що надаються згідно технічних умов.

Дуже важливою характеристикою є такий показник як запас надійності по тиску P_j дугогасного газу в камері високовольтного вимикача, що може бути записано

$$|P_j - P^3| \leq \varepsilon_3 \quad (8)$$

де P_j - тиск газу в камері комутаційного апарату в процесі виконання j - ї комутації; P^3 - значення тиск газу, що надається згідно технічних умов.

Схемна реалізація мікропроцесорної системи моніторингу комутаційного ресурсу високовольтних вимикачів, організована з єдиних інформацій-

них позицій і орієнтована для проведення моніторингу технічного стану будь якого типу високовольтного комутаційного апарату, наведена на рис.1.

В системі проводиться комп'ютерний моніторинг широкого спектру параметрів таких як відпрацьований вимикачем ресурс, залишковий ресурс, критичний ресурс та його граничні значення, а також реалізується прогноз величини надійності і визначення перед-аварійних та аварійних режимів з метою формування експрес і повної інформації для передачі її на всі рівні керування електропостачанням з метою прийняття оперативних рішень. Комп'ютерна система включає мікропроцесор для організації безперервного моніторингу високовольтних вимикачів і обробки та представлення первинної інформації, а також набір електронних ключів, шифраторів, запам'ятовуючого пристрою, регістрів, дешифраторів, формувача аналогових сигналів, аналого-цифрового перетворювача і чотирьох портового модуля для забезпечення комунікації мікропроцесорної системи з комп'ютерним середовищем керування електропостачанням на тягу.

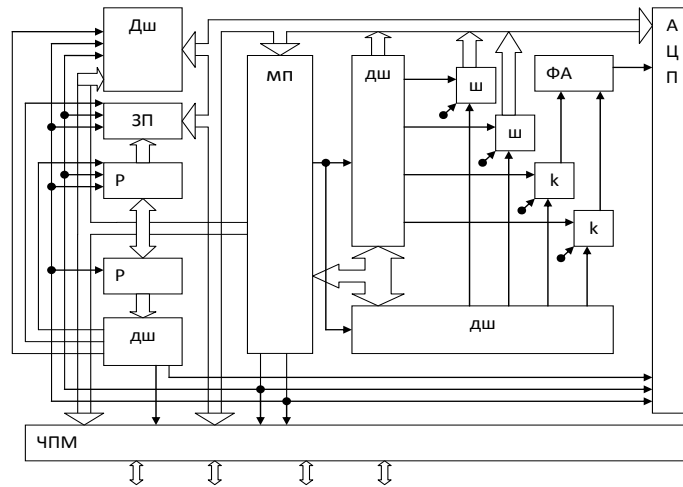


Рис. 1. Мікропроцесорна система моніторингу комутаційного ресурсу високовольтних вимикачів тягових мереж

Після запуску мікропроцесорної системи моніторингу комутаційного ресурсу високовольтних вимикачів проводиться її інсталяція і обробляється ряд процедура на предмет можливого обміну інформацією з верхнім рівнем керування електропостачанням, після чого виконується процедура, що переводить систему в робочий режим. В процесі функціонуванні системи моніторингу, за заданим періодом T реалізується опитування сукупності датчиків аналогових сигналів струму $i(t)$, тиску P_j , температури, моменту t_s початку відключення високовольтного вимикача і ряду інших, а також дискретних сигналів, що характеризують стан

системи захисту. Аналогові сигнали через відповідні ключі і формувач аналогових сигналів поступають на вхід аналого-цифрового перетворювача де представляються у вигляді цифрового еквівалента і записуються в пам'ять мікропроцесора. В той же час, дискретні сигнали за допомогою шифраторів шифруються у вигляді відповідного цифрового значення і записуються також в запам'ятовуючий пристрій мікропроцесора. Після реєстрації первинної інформації мікропроцесором проводиться аналіз на предмет появи сигналу t_s початку відключення комутаційного апарату. Якщо сигнал t_s

з'явився, то в мікропроцесорі реалізується обчислювальний процес значень вторинних параметрів згідно математичних залежностей (1)-(8) які визначають режим комутаційного апарату. В той же час, мікропроцесор запускає таймера в роботу і з заданою частотою f опитує датчик кінця виключення комутаційного апарату. В момент відключення високовольтного вимикача, мікропроцесором реєструється термін τ_j^g горіння дуги і відповідно момент зникнення струму. Після цього в мікропроцесорі, на основі обчислених значень сукупності параметрів згідно математичних виразів (1)-(8) проводиться аналіз технічного стан високовольтного вимикача. Якщо ресурс високовольтного комутаційного апарату відповідає технічним умовам, тобто не критичний, то процедура моніторингу продовжується. В тому випадку коли ресурс критичний, то мікропроцесором формується експрес-інформація і повна інформація про аномальний режим високовольтного комутаційного апарату. Далі мікропроцесором за допомогою чотирьох портового модуля, що забезпечує ряд комунікаційних процедур мікропроцесорної системи з комп'ютерних середовищем керування електропостачанням на тягу, вся інформація передається на вищі рівні управління для прийняття відповідних рішень.

Висновки

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стасюк О.І., Гончарова Л.Л., Максимчук В.Ф. Методи організації інтелектуальних електричних мереж залізниць на основі концепції SMART Grid // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2014. № 2 – С.29 –37.
2. Буткевич О.Ф., Левконюк А.В., Стасюк О.І. Підвищення надійності моніторингу допустимості завантажень контрольованих перетинів енергосистем // Технічна електродинаміка. – 2014. - №2 – С. 56-67.
3. Гончарова Л.Л. Математичні моделі комп'ютерної інтелектуалізації технологій синхронних векторних вимірів параметрів електричних мереж // Гончарова Л.Л., Стасюк О.І. Кібернетика і системний аналіз, Київ-2016, №5 – С 41-49. <http://www.kibernetika.org>.
4. Гончарова Л.Л. Диференційні математичні моделі дослідження комп'ютерної архітектури всережимної системи керування дистанції електропостачання залізниць // Гончарова Л.Л., Стасюк О.І. Кібернетика і системний аналіз, Київ-2017, № 1 – С 1-8. <http://www.kibernetika.org>.

Надійшла до друку 15.12.2016.

1. На основі проведеного аналізу сучасного стану тягових мереж і силових електричних об'єктів тягових підстанцій показано, що сучасні тенденції забезпечення високого рівня ефективності і оптимізації електропостачання пов'язані з необхідністю проведення циклу наукових досліджень в сфері інтелектуалізації спектру процедур управління швидкоплинними технологічними процесами електропостачання залізницям та безперервного моніторингу параметрів режимів роботи високовольтних вимикачів і в першу чергу вузлів та елементів, що мають великий рівень уразливості для контролю поведінки головної контактної мережі.

2. На основі проведених досліджень розглянуто ряд математичних моделей і комп'ютерно-орієнтованих методів визначення надійності уразливих вузлів високовольтних комутаційних апаратів як основи синтезу комп'ютерних засобів проведення під наругою серійного моніторингу параметрів режимів високовольтних вимикачів в процесі виконання комутаційних процедур.

3. Запропоновано мікропроцесорну систему визначення комутаційного ресурсу високовольтних вимикачів тягових мереж, що реалізує з єдиних інформаційних позицій моніторингу параметрів режимів, контроль функціонування та прогноз залишкового, відпрацьованого, і критичного ресурсу.

REFERENCES

1. Stasjuk O.I., Goncharova L.L., Maksymchuk V.F. Metody organizacii' intelektual'nyh elektrychnykh merezh zaliznyc' na osnovi koncepcii' SMART Grid [Methods of intelligent electrical networks of railways on the concept of SMART Grid] // Informacijno-kerujuchi systemy na zaliznychnomu transporti. [Information controlling systems for railway], 2014, No 2, pp.29 –37.
2. Butkevych O.F., Levkonjuk A.V., Stasjuk O.I. Pidvyshhennja nadijnosti monitoryngu dopustymosti zavantazhen' kontrol'ovanyh peretyniv energosys-tem [Improving the reliability of monitoring admissibility downloads intersections of controlled power systems] // Tehnichna elektrodynamika [Technical electro-dynamics], 2014, No 2, pp. 56-67.
3. Goncharova L.L. Matematychni modeli komp'jutnoi' intelektualizacii' tehnologij synhron-nyh vektornykh vymiriv parametriv elektrychnykh me-rezh [Mathematical models of computer technologies intellectualization synchronous vector measurements of parameters of power networks]. Kibernetika i systemnyj analiz [Cybernetics and System Analysis], 2016, No 5, pp. 41-49. <http://www.kibernetika.org>.
4. Goncharova L.L. Dyferencijni matematychni modeli doslidzhennja komp'jutnoi' arhitektury vse-rezhymnoi' systemy keruvannja dystancii' elektropostachannja zaliznyc' [Differential mathematical model studies computer architecture vserezhymnoyi distance control system electrical railways]. Kibernetika i

Внутрішній рецензент *Кузнецов В.Г.*Зовнішній рецензент *Стасюк О.І.*

Наведено результати аналізу сучасного стану наукових досліджень в сфері інтелектуалізації процедур оптимізації електропостачання на тягу, показано, що сучасні тенденції забезпечення високого рівня ефективності і оптимізації електропостачання пов'язані з необхідністю проведення циклу наукових досліджень в сфері інтелектуалізації спектру процедур управління швидкоплинними технологічними процесами електропостачання залізницям та безперервного моніторингу параметрів режимів роботи високовольтних вимикачів. Наведені математичні моделі і комп'ютерно-орієнтовані методи визначення надійності уразливих вузлів високовольтних комутаційних апаратів як основи синтезу комп'ютерних засобів моніторингу параметрів режимів. Запропоновано мікропроцесорну систему визначення комутаційного ресурсу високовольтних вимикачів тягових мереж, що реалізує з єдиних інформаційних позицій моніторингу параметрів режимів, контроль функціонування та прогноз залишкового, відпрацьованого, і критичного ресурсу.

Ключові слова: математична модель; метод; ресурс; моніторинг; мікропроцесорна система.

УДК 681.325

Л. Л. ГОНЧАРОВА (ГЭТУТ)

Государственный экономико-технологический университет транспорта, кафедра «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии транспорта», 03049, Киев-49, ул. Лукашевича, 19, тел.: 099-288-12-08, эл. почта: ktarael@yandex.ru

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ И МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОММУТАЦИОННОГО РЕСУРСА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ТЯГОВЫХ СЕТЕЙ

Приведены результаты анализа современного состояния научных исследований в сфере интеллектуализации процедур оптимизации электроснабжения на тягу, показано, что современные тенденции обеспечения высокого уровня эффективности и оптимизации электроснабжения связаны с необходимостью проведения цикла научных исследований в сфере интеллектуализации спектра процедур управления мимолетными технологическими процессами электроснабжения железным дорогам и непрерывного мониторинга параметров режимов работы высоковольтных выключателей. Приведены математические модели и компьютерно-ориентированные методы определения надежности уязвимых узлов высоковольтных коммутационных аппаратов как основы синтеза компьютерных средств мониторинга параметров режимов. Предложено микропроцессорную систему определения коммутационного ресурса высоковольтных выключателей тяговых сетей, реализует с единых информационных позиций мониторинга параметров режимов, контроль функционирования и прогноз остаточного, отработанного и критического ресурса.

Ключевые слова: математическая модель; метод; ресурс; мониторинг; микропроцессорная система.

Внутренний рецензент *Кузнецов В.Г.*Внешний рецензент *Стасюк О.И.*

UDC 681.325

L. L. GONCHAROVA (SETUT)

State Economic and Technological University of Transport, Department of "Automation and computer-integrated transport technology," 03049, Kiev-49, Lukashovich st., 19, tel.: 099-288-12-08, e. mail: ktarael@yandex.ru

MICROPROCESSOR SYSTEMS AND METHODS FOR DETERMINING SWITCHING RESOURCES HV CIRCUIT BREAKER OF TRACTION NETWORKS

The results of the analysis of the current state of scientific research in the field of optimization procedures intellectualization of electricity for traction, shows that current trends to ensure a high level of efficiency and optimization of power associated with the need for the cycle of research in the field of spectrum management procedures intellectualization fleeting process of continuous power and railways mode monitoring of high-voltage switches. These mathematical models and computer-oriented methods for determining the safety of vulnerable nodes high switching devices as the basis of synthesis of computer monitoring tools mode. A microprocessor system resource definition switching high-voltage switches traction networks, realizing the only position information monitoring mode settings control the functioning and forecast residual, waste, and critical resource.

Keywords: mathematical model; method; resource; monitoring; microprocessor system.

Internal reviewer *Kuznetsov V.G.*External reviewer *Stasiuk O.I.*

© Гончарова Л. Л., 2016