

УДК 621.315.658.382.3

В. М. Кутін, д. т. н., проф.;

Є. А. Бондаренко, к. т. н., доц.

ПРИСТРІЙ НЕПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЕНЕРГІЇ, ПОГЛИНУТОЇ ТІЛОМ ЛЮДИНИ, ЯКА ЗНАХОДИТЬСЯ В ЗОНІ ВПЛИВУ ПРОСТРОЇВ НАДВИСОКОЇ НАПРУГИ

Запропоновано метод і пристрій для неперервного контролю енергії, яка поглинається тілом людини під час виконання ремонтних робіт на потенціалі ЛЕП напругою 220—750 кВ. Дозиметр, що пропонується, дозволяє підвищити точність контролю дози впливу електричного поля, оцінити рівень безпеки і покращити умови праці під час робіт в електроустановках надвисокої напруги.

Електропередачі надвисокої напруги (НВН) забезпечують оптимальне навантаження електричних станцій, високу надійність електропостачання, зменшення витрат енергії порівняно з мережами нижчої напруги. Але електропередачі НВН створюють ряд додаткових проблем, серед яких однією з важливих є забезпечення електробезпеки під час обслуговування і ремонту під напругою.

Високий рівень напруженості електричного поля, необхідність виконання електромонтажних робіт на великій висоті та під напругою вимагають розробки і впровадження низки додаткових засобів та заходів, які забезпечують безпеку умов праці: спеціальних технологій обслуговування та ремонту поблизу та на струмопровідних частинах електроустановок, технологічної оснастки, ізоляційних та екранувальних матеріалів, комплектів екранувального одягу, приладів безпеки перебування людини в електромагнітному полі.

Відомий спосіб [1, 2] забезпечення безпеки людини під час експлуатації та обслуговування відкритих розподільчих пристроїв, підстанцій і повітряних мереж полягає в розробці карти зміни напруженості в місцях перебування електротехнічного персоналу. У відповідності до вимірних значень робляться висновки щодо допустимого часу перебування персоналу в електромагнітному полі. Основним недоліком цього способу є те, що в реальних умовах має місце викривлення поля присутністю в ньому людини, особливо в процесі виконання робіт під напругою на потенціалі проводу, що не дає можливість безперервно контролювати безпеку персоналу під час роботи в електромагнітному полі.

Мета роботи — підвищення рівня безпеки виконання робіт під напругою шляхом безперервного контролю енергії, що поглинається тілом людини під час виконання ремонтних робіт під напругою в електроустановках НВН.

Робота пристрою контролю безпеки перебування електротехнічного персоналу в електромагнітному полі полягає в контролі енергії, що поглинається тілом людини, яка знаходиться в цьому полі і визначається за формулою

$$W_h = P_h t = R_h I_h^2 t, \quad (1)$$

де P_h — потужність електричного поля, яка поглинається тілом людини; I_h — діюче значення струму, що протікає по тілу людини, наведеного електричним полем; R_h — опір тіла людини; t — час перебування в електричному полі.

Порівняння отриманого значення з допустимим значенням енергії, що поглинається тілом людини, дозволяє судити про безпеку перебування в ньому. Допустиме значення енергії електричного поля, поглинутої тілом людини, визначається з виразу

$$W_{h, \text{доп.}} = P_h t_{\text{доп.}}, \quad (2)$$

де $t_{\text{доп.}}$ — допустимий час перебування людини в електричному полі при відповідній потужності електричного поля, яка поглинається тілом людини (в годинах).

Значення потужності, відповідно [3] можна визначити з виразу

$$P_h = \frac{V_h \rho_h \omega^2 \varepsilon_0^2 E^2}{N_a^2}, \quad (3)$$

де $V_h = \frac{2}{3} \pi a b^2$ — об'єм тіла людини, м³; ρ_h — питомий опір тіла людини, Ом·м; ω — кутова частота, с⁻¹; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ — діелектрична постійна повітря, Ф/м; $N_a = \frac{b^2}{a^2} \left[\left(\ln \frac{2a}{b} \right) - 1 \right]$ — коефіцієнт деполаризації еліпсоїду обертання вздовж осі обертання (тобто a), який еквівалентний об'єму тілу людини; a, b — півосі витягнутого еліп-соїда обертання, що відповідає розмірам тіла людини.

Якщо вважати, що об'єм тіла людини, його питомий опір, кутова частота з часом не змінюються, то вираз (3) матиме вигляд

$$P_h = n E^2, \quad (4)$$

де $n = \frac{V_h \rho_h \omega^2 \varepsilon_0^2}{N_a^2} = \text{const}$, м²/Ом.

З урахуванням (2) та (4) вираз для допустимої енергії, що поглинається тілом людини матиме вигляд

$$W_{h.\text{доп.}} = n E^2 t_{\text{доп.}}. \quad (5)$$

Числове значення для $W_{h.\text{доп.}}$ можна визначити з умови, що з напруженістю електричного поля 5 кВ/м допустимий час перебування, згідно залежності (1), складає 8 годин, тобто робочу зміну. З урахуванням цієї умови

$$W_{h.\text{доп.}} = n \cdot 5^2 \cdot 8 = n \cdot 200 \text{ (Дж)}. \quad (6)$$

В реальних умовах ріст та вага тіла людини відрізняється від середніх значень, тому у вираз для допустимої енергії вводиться коригувальний коефіцієнт, який згідно [4] визначається як

$$k = \frac{G_h \cdot 1,7^2}{a_h^2 \cdot 71,9},$$

де G_h, a_h — відповідно вага та зріст реальної людини, яка знаходиться в електричному полі промислової частоти (ЕП ПЧ)

$$W_{h.\text{доп.}} = 200 \cdot n k. \quad (7)$$

Підставивши вираз (7) в (5), отримаємо залежність допустимого часу перебування людини в ЕП ПЧ від напруженості поля для діапазону від 5 кВ/м до 25 кВ/м.

$$t_{\text{доп.}} = k \frac{200}{E^2} \text{ (год)}. \quad (8)$$

Отриманий вираз (8) враховує залежність допустимого часу перебування персоналу в ЕП ПЧ від кількості допустимої енергії, яка поглинається тілом людини, напруженості поля ЕП ПЧ та реальних розмірів тіла людини.

Допустимі значення часу перебування людини в ЕП ПЧ та енергії електричного поля, поглинутої тілом людини для різних значень E, I_h, P_h (параметрів тіла людини: $a = 1,7$ м, $b = 0,14$ м, $\rho_h = 150$ Ом·м [5]) визначено з чинних гігієнічних норм напруженості електричного поля і наведено у табл. 1.

Допустимі значення часу перебування людини в ЕП ПЧ та енергії електричного поля, поглинутої тілом людини для різних значень E, I_h, P_h

$E, \text{кВ/м}$	$I_h, \text{мкА}$	$P_h, \text{мкВт}$	$t_{\text{доп.}}, \text{год}$	$W_{h,\text{доп.}}, \text{мкДж}$
5	60	10	8	80
10	120	40	2	80
15	180	90	0,9	80
20	240	160	0,5	80
25	300	250	0,32	80

На рисунку 1 показана структурна схема пристрою контролю безпечного перебування електротехнічного персоналу в ЕП ПЧ. Пристрій складається з сенсора струму 1; блоку контролю енергії 3, вхід якого з'єднаний з виходом сенсора струму, який знаходиться на поясі людини; сигнального елементу 14, що облаштовується з внутрішньої сторони захисної каски, вхід якого приєднаний до виходу блока 3.

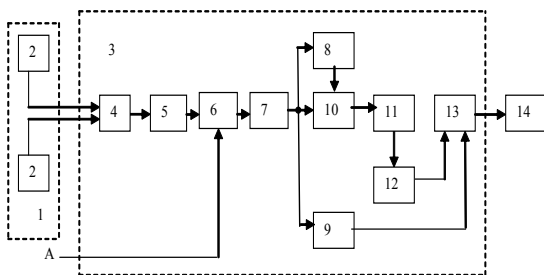


Рис. 1. Структурна схема пристрою контролю дози електромагнітної енергії, поглинутої тілом людини, яка знаходиться в зоні впливу пристроїв НВН

Сенсор струму зміщення I_h , має оригінальну конструкцію у вигляді шкарпеток 2, що мають три шари, внутрішній та зовнішній шари яких виконані з електропровідної тканини, а внутрішній шар — з ізоляційної тканини. Блок контролю енергії 3, складається з компенсаційного трансформатора 4, випрямляча 5, дільника напруги 6, квадратора 7, компараторів 8 і 9, аналогового ключа 10, перший вхід якого підключається до виходу квадратора 7, а другий — до виходу компаратора 8 і вихід до перетворювача напруги в частоту 11; лічильник імпульсів 12; логічний елемент АБО 13, другий вхід якого з'єднаний з виходом другого компаратора 9. У випадку підвищення рівня сигналу над коригованим

спрацьовує сигналізатор 14.

Перед початком роботи визначають дійсний зріст людини a_h та його вагу G_h і визначають відношення $a_h^2 \cdot 71,9 / G_h \cdot 1,7^2$, значення якого установлюється на перемикачі (вхід А).

При знаходженні людини в електричному полі, через тіло людини постійно буде проходити струм, значення якого буде залежати від напруженості ЕМП. Так як внутрішній та зовнішній шари шкарпеток 2 виконані з електропровідної тканини, а внутрішній шар — з ізоляційної тканини, то весь струм I_h , який протікає по тілу людини, буде надходити на входи компенсаційного трансформатора 4. На вхід первинної обмотки подається струм I_{h1} , а на вхід іншої — I_{h2} . Значення вихідної напруги компенсаційного трансформатора пропорційне струму, який проходить через тіло людини, яка знаходиться в ЕП ПЧ.

Далі сигнал подається на вхід випрямляча 5. Випрямлений сигнал потрапляє на перший вхід дільника напруги 6, принципова схема якого може бути виконана аналогічно підсилювачу з коефіцієнтом підсилення, що регулюється. На другому вході А дільника напруги 6 установлюється коефіцієнт передачі k_A

$$k_A = \frac{G_h \cdot 1,7^2}{a_h^2 \cdot 71,9}$$

Далі сигнал подається на вхід квадратора 7, де він підноситься до квадрату і поступає на входи компараторів 8, 9 і аналогового ключа 10. Робота пристрою буде залежати від значення потужнос-

ті, яка поглинається тілом людини $P_h = k_A R_h I_h^2$. Якщо значення $P_h \leq 10$ мкВт, то компаратори не спрацьовують. Якщо $10 \text{ мкВт} < P_h \leq 250 \text{ мкВт}$, то спрацьовує компаратор 8 і дає сигнал на включення аналогового ключа 10.

Сигнал з виходу квадратора 7 потрапляє на 11 — функціональний перетворювач напруги в частоту по лінійному закону. Частота імпульсів буде визначатися значенням амплітуди сигналу на вході перетворювача 11, яке відповідає певному значенню P_h .

Після підрахунку імпульсів, лічильником імпульсів 12, на виході лічильника з'являється логічна одиниця, яка надходить до логічного елемента АБО 13 і запускає блок сигналізації 14.

При $P_h > 250$ мкВт спрацьовує компаратор 9 і через логічний елемент 13 запускає сигнальний орган без витримки часу.

Висновки

1. Неперервний контроль енергії, яка поглинається тілом людини в процесі виконання робіт під напругою в електроустановках НВН, дозволяє підвищити рівень безпеки їх експлуатації.

2. Запропоновано метод і пристрій неперервного контролю дози електромагнітної енергії, поглинутої тілом людини, що знаходиться в зоні впливу пристроїв НВН. В пристрої як сенсор інтегральної характеристики контролю струму стікання з тіла людини, використовуються тришарові шарпетки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые урны напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах: ГОСТ 12.1. 002-84 ССБТ. — Взамен ГОСТ 12.1.002-75; Введен 01.01.86. — М.: Издательство стандартов, 1985. — 5 с.
2. Основи охорони праці: [підручник] / [К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський та ін.]. — К.: Основа, 2006 — 448 с.
3. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках / П. А. Долин. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 484 с.
4. А.с.1781850 СССР, МКУ Н05F3/00/. Способ контроля защитных свойств экранирующего комплекта одежды / В. М. Кутин, Е. А. Бондаренко (СССР). — № 4841490: Заявл. 19.06.1990 г.; опубл. 15.12.1992. Бюл. № 46. — 11 с.
5. Монойлов В. Е. Основы электробезопасности / В. Е. Монойлов. — Л.: Энергоатомиздат, 1985. — 384 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Надійшла до редакції 24.06.08
Рекомендована опублікування 01.10.08

Кутін Василь Михайлович — професор кафедри електричних станцій та систем;

Бондаренко Євгеній Аркадійович — доцент кафедри менеджменту в будівництві охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Вінницький національний технічний університет