

**АППАРАТНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ В  
РУДНИЧНЫХ УЧАСТКОВЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ДО 1200 В**

**О.Н. Синчук<sup>1\*</sup>**, докт.техн.наук, **А.Г. Ликаренко<sup>1</sup>**, канд.техн.наук, **А.А. Петриченко<sup>1</sup>**, **Р.В. Зиманков<sup>1</sup>**,  
**Ф.П. Шкрабец<sup>2\*\*</sup>**, докт.техн.наук

<sup>1</sup> – ГВУЗ “Криворожский национальный университет”,  
ул. XXII Партсъезда, 11, Кривой Рог, 50027, Украина,

e-mail: [speet@ukr.net](mailto:speet@ukr.net)

<sup>2</sup> – ГВУЗ “Национальный горный университет”,

пр. Карла Маркса, 19, Днепропетровск, 49600, Украина.

e-mail: [ShcrabetsF@nmu.org.ua](mailto:ShcrabetsF@nmu.org.ua)

*Изложено авторское видение строения структуры аппаратов защиты от токов утечки на переменном оперативном токе для шахтных распределительных комбинированных сетей. Приведены условия достижения нормативной минимальной безопасности и расчет ее уставок на основании нормативов электробезопасности. Разработана структурная схема получения измерительных функций для контроля и выполнения условий минимальной безопасности для длительного и кратковременного токов через тело человека. Библиограф. 6, рис. 2.*

**Ключевые слова:** электробезопасность, ток утечки, изоляция сети, полупроводниковые преобразователи энергии, регулируемые электроприводы, комбинированные электрические сети, аппараты защиты.

Для защиты горнорабочих от поражений электрическим током в распределительных сетях до 1200 В шахт и карьеров угольной и горнорудной промышленности применяются аппараты защиты от токов утечки [4]. Они должны иметь функциональные характеристики, в силу которых ток через тело человека (напряжение прикосновения) и время его действия в интервале до 1 с не превышали бы значений, установленных ГОСТ [6]. К сожалению, анализируемые аппараты защиты не соответствуют поставленным требованиям [6] в связи с применением горных машин и механизмов с регулируемым электроприводом [5], преобразователи энергии которых создают дестабилизирующее влияние на контроль сопротивлений изоляции и утечек тока в рудничных распределительных сетях. Практикой исследований [2] установлено, что возникновение утечек на участках сети с потребителями постоянного тока делает неработоспособными существующие аппараты защиты. Те же исследования позволили сделать не категоричный но все же вывод, что возникшую проблему возможно решить путем создания аппаратов защиты на переменном оперативном токе нестандартной частоты, так как он является универсальным видом оперативного тока, пригодным для всех типов и видов сетей [1].

**Целью работы** является разработка строения структуры аппаратов защиты от токов утечки на переменном оперативном токе для шахтных комбинированных электрических сетей.

Во всех известных рудничных аппаратах защиты используется метод косвенного определения величины тока утечки по изменению сопротивления защищаемой сети относительно земли путем наложения на нее измерительного оперативного тока. Выбором величины уставок защиты можно достичь различных уровней обеспечения электробезопасности [1]. В существующих сетях *практически* возможно достичь только *минимальную безопасность (МБ)* при соблюдении следующих условий [2]:

$$a) g'_y \leq g'_{y,np} = I_{\text{дл.д}} / U_{\phi}; \quad б) \sqrt{G^2 + B^2} = I_{\text{к.д}} / U_{\phi} \text{ или } Q_{\text{доп}} / t_{\text{ч}} \cdot U_{\phi} = \int_0^{t_{\text{ч}}} i_{\text{ч}}(t) dt / t_{\text{ч}} \cdot U_{\phi}; \quad (1, a, б)$$

где  $G$  – активная проводимость сети относительно земли;  $B$  – емкостная проводимость сети относительно земли;  $Q_{\text{доп}}$  – допустимое количество электричества через тело человека.

Выполнением условия (1а) предотвращается возможность превышения длительно допустимого тока через человека  $I_{\text{ч}} \leq I_{\text{дл.д}}$ , а условия (1б) – непревышение кратковременного допустимого тока  $I_{\text{к.д}}$ .

Расчет величины уставок защиты, обеспечивающий МБ, осуществляется на основе нормируемых [6] значений токов  $I_{\text{дл.д}}$  (1а) и  $I_{\text{к.д}}$  (1б) по следующим выражениям:

$$a) I_{\text{ч}} \leq I_{\text{дл.д}}; \quad б) r'_{y,np} \leq r'_{\text{уст}} = U_{\phi} / I_{\text{дл.д}} = U_{\phi}(B) / 25 \text{ (мА)}; \quad (2)$$

$$a) t_c \leq 0,2 \text{ с}; \quad б) I_{\text{к.д}} \leq 100 \text{ мА}; \quad в) Q_{\text{доп}} = \int_0^{t_{\text{ч}}} i_{\text{ч}}(t) dt \leq 50 \text{ мА} \times \text{с}. \quad (3, a, б, в)$$

Для косвенного контроля тока утечки через тело человека (3а) по сопротивлению однофазной утечки (3б) необходимо создать измерительную функцию переменного оперативного тока нестандартной частоты и выполнить функциональные преобразования над ней для получения измерительных функций для параметров

контроля и выполнения условий достижения МБ (1а), (1б), (2), (3). На рис. 1 представлен вариант предлагаемой структурной схемы необходимых функциональных преобразований над измерительной функцией контроля условий МБ на переменном оперативном токе.

При переходе с постоянного на переменный оперативный ток возникла проблема контроля условий не превышения длительным допустимым током через тело человека нормативов электробезопасности (1а) и (3). Для ее решения измерительная функция должна быть отстроена от влияния емкости изоляции сети.

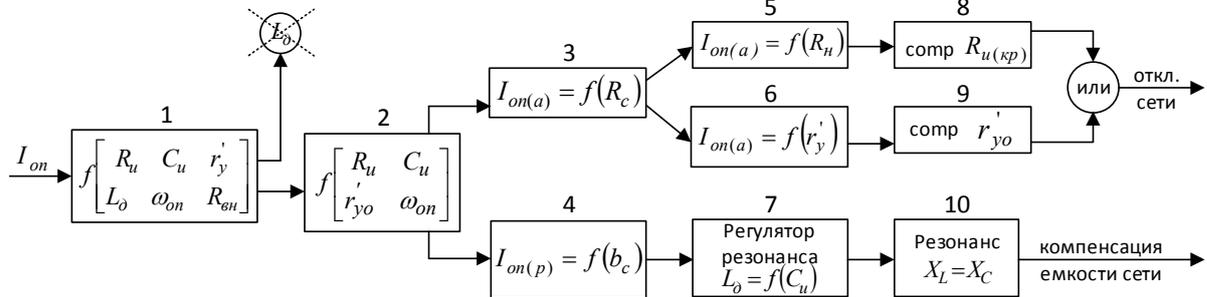


Рис. 1

Для решения этой аппаратной проблемы, а также для получения пропорциональной измерительной функции предлагается включить источник оперативного тока нестандартной частоты ( $E_{on}$ ) с измерительным шунтом в ветвь компенсирующего дросселя ( $R_d, L_d$ ), присоединенного к сети через емкостной фильтр нулевой последовательности ( $3C_\phi$ ). При этом их параметры определены так, что на оперативной частоте  $\omega_{on}$  они образуют последовательный колебательный контур, а на промышленной  $\omega$  – параллельный, с заданной резонансной емкостью изоляции сети. Выражения внутреннего сопротивления защиты для этих частот имеют вид

$$а) Z_{BH(\omega_{on})} = R_d + j(\omega_{on}L_d - 10^6/\omega_{on} \cdot 3C_\phi); \quad б) Z_{BH(\omega)} = R_d + j(\omega L_d - 10^6/\omega \cdot 3C_\phi). \quad (4)$$

Из решения этой системы определены выражения для нахождения  $L_d$  и  $3C_\phi$ , удовлетворяющие условиям МБ (2) и (3). При этом измерительная функция (блок 1, рис. 1) упрощается и превращается в блок 2. Из нее на основании известных работ получаем измерительную функцию [2]

$$I_{on}(\omega_{on}) = \dot{E}_{on} / (R_d + 1/(g_{u,c} + g'_y + jb_c)) \approx \dot{E}_{on}(G_c + jB_c); \quad (5)$$

где  $g_{u,c} = g_{u,\approx} + g_{u,=} + g_{u,f}$  – активная проводимость изоляции комбинированной сети;  $g_y$  – проводимость активной однофазной утечки;  $R_d \ll r_{yem}(3) \approx 0$ ;  $B_c = \omega_{on}(C_{u,\approx} + C_{u,=} + C_{u,f})$  – емкостная проводимость изоляции комбинированной сети;  $G_c = g_{u,c} + g_y$  – активная и реактивная проводимости сети.

Измерительная функция (6) разделяется на активную и реактивную составляющие

$$I_{on(a)} = \dot{E}_{on} \cdot G_c = \dot{E}_{on}(g_{u,\approx} + g_{u,=} + g_{u,f}); \quad I_{on(p)} = \dot{E}_{on} \cdot jB_c = j\dot{E}_{on} \omega_{on}(C_{u,\approx} + C_{u,=} + C_{u,f}). \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что в измерительной функции (блок 2) выполнено требование пропорциональности и исключено влияние компенсирующего дросселя на условия срабатывания защиты. При выделении и контроле общего сопротивления изоляции сети относительно земли аппарат защиты будет иметь каноническую защитную характеристику (АКХ), как и серийные аппараты защиты [2]. При контроле емкости изоляции сети (блок 4) будет осуществлена автоматическая компенсация емкостной составляющей тока утечки (блоки 4,7,10) для токоограничения кратковременного тока (3). Для получения деформированной защитной характеристики необходимо осуществить отдельный контроль сопротивлений изоляции и утечки, выделив для этого из функции (блок 3) измерительные функции (блок 5, 6).

Предлагаемая нами функциональная схема выделения из преобразованной измерительной функции

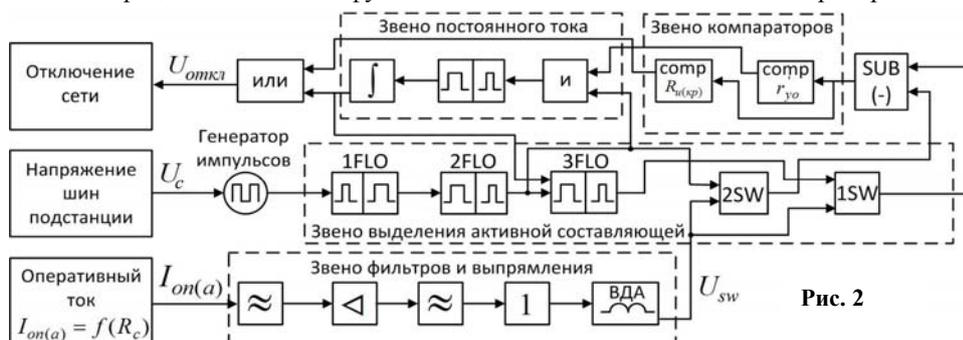


Рис. 2

(блок 2) активной (блок 3) и реактивной (блок 4) составляющих показана на рис. 2. В полном виде схема реализована в аппарате селективной защиты от утечек типа УСШС-380/660 для шахтных сетей [3]. В соответствии с результатами стендовых испытаний на

физической модели комбинированной сети аппаратура УСШС-380/660 имеет функциональные характеристики, обеспечивающие при защитном отключении все нормативы МБ на всех участках комбинированной сети.

1. Лейбов Р.М. Утечки в шахтных электрических сетях. – М.: Углетехиздат, 1952. – 363 с.
2. Синчук О.Н., Ликаренко А.Г., Петриченко А.А. Исследование защитных характеристик аппаратов защиты от токов утечки рудничных участков распределительных сетей на постоянном оперативном токе в условиях дестабилизирующих факторов комбинированных сетей // Гірничя електромеханіка та автоматика. – 2015. – №94. – С. 3-12.
3. Шкрабец Ф.П., Ликаренко А.Г., Пархоменко Р.А. Аппаратура селективной защиты от токов утечки для комбинированных электрических сетей 380 и 660 В рудных шахт // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012(18). – № 2. – С. 77-84.
4. Единые Правила Безопасности при разработке рудных, нерудных и рассыпных месторождений подземным способом. – К.: Техника, 2009.- 385 с.
5. Електрифікація гірничого виробництва – Д.: Нац. гірн. ун-т. – 503 с.
6. ГОСТ 12.1.038-82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения прикосновения и токов. – М.: ИПК «Издательство стандартов», 2003.

УДК 621.316.933.002.25

**АПАРАТНІ ПРОБЛЕМИ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ З РЕГУЛЬОВАНИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ В РУДНИКОВИХ ДІЛЬНИЧНИХ РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ ДО 1200 В**  
О.М. Синчук<sup>1</sup>, докт.техн.наук, А.Г. Лікаренко<sup>1</sup>, канд.техн.наук, А.А. Петриченко<sup>1</sup>, Р.В. Зіманков<sup>1</sup>, Ф.П. Шкрабец<sup>2</sup>, докт.техн.наук

<sup>1</sup>- ДВНЗ “Криворізький національний університет”,

ул. XXII Партз’їзду, 11, Кривий Ріг, 50027, Україна,

e-mail: [speet@ukr.net](mailto:speet@ukr.net)

<sup>2</sup>- ДВНЗ “Національний гірничий університет”,

пр. Карла Маркса, 19, Дніпропетровськ, 49600, Україна,

e-mail: [ShcrabetsF@nmu.org.ua](mailto:ShcrabetsF@nmu.org.ua)

*Викладено авторське бачення будови структури апаратів захисту від витоків струму на змінному оперативному струмі для шахтних розподільчих комбінованих мереж. Наведені умови досягнення нормативної мінімальної безпеки та розрахунок її уставок на підставі нормативів електробезпеки. Розроблена структурна схема одержання вимірювальних функцій для контролю та виконання умов мінімальної безпеки для довготривалого та короткочасного струмів через тіло людини. Бібл. 6, рис. 2.*

**Ключові слова:** електробезпека, струм витоків, струм через людину, ізоляція мережі, напівпровідникові перетворювачі енергії, регульовані електроприводи, комбіновані електричні мережі, апарати захисту.

**HARDWARE ELECTRICAL SAFETY PROBLEMS WITH OPERATION OF ELECTROTECHNICAL COMPLEXES WITH REGULATED ELECTRIC DRIVES IN MINING AREA DISTRIBUTION NETWORKS UP TO 1200V**

O.N. Sinchuk<sup>1</sup>, A.G. Likarenko<sup>1</sup>, A.A. Petrychenko<sup>1</sup>, R.V. Zimankov<sup>1</sup>, F.P. Shkrabets<sup>2</sup>

<sup>1</sup>- SHEI "Kryvyi Rih National University",

st. XXII Party Congress, 11, Krivoy Rog, 50027, Ukraine,

e-mail: [speet@ukr.net](mailto:speet@ukr.net)

<sup>2</sup>- SHEI "National Mining University",

pr. Karl Marx, 19, Dnepropetrovsk, 49600, Ukraine,

e-mail: [ShcrabetsF@nmu.org.ua](mailto:ShcrabetsF@nmu.org.ua)

*Set forth the author's vision of the structure protection devices against alternative operating leakage current for combined mining distribution networks. Conditions have been given an achievement of minimal normative safety and calculation of its settings according to standards of electrical safety. The measurement functions structural scheme was developed for monitoring and fulfillment of minimal safety conditions for continuous and short time currents passing through the human body. References 6, figures 2.*

**Keywords:** electrical safety, leakage current, insulation of the network, semiconductor power converters, electric adjustable, combined electrical networks, protection devices.

1. Leibov R.M. Leaks in the mine power networks. – Moskva: Ugletekhizdat, 1952. – 363 p. (Rus)

2. Synchuk O.N., Likarenko A.G., Petrichenko A.A. Research of protective characteristics of protective devices against leakage current on direct operating current in destabilizing conditions of combined mining networks // Hirnycha Elektromekhanika ta Avtomatyka. – 2015. – №94. – Pp. 3-12. (Rus)

3. Shkarabets F., Likarenko A., Parhomenko R. Equipment for selective protection of leakage currents for combined electrical networks of 380 and 660 V ore mines // Electromechanical and energy saving systems. – 2012(18). – No 2. – Pp. 77-84. (Rus)

4. Unified Safety Rules of mining, non-mining and placer deposits development with underground method. – Kyiv: Tekhnika, 2009. – 385 p. (Rus)

5. Electrification of mining production. – Dnipropetrovsk: Natsionalnyi hirnychiy universytet. – 503 p. (Ukr)

6. State Standart 12.1.038-82. Electrical Safety. The maximum allowable values of touch current and currents. – Moskva: IPK “Izdatelstvo Standartov”, 2003. (Rus)

Надійшла 03.02.2016

Остаточний варіант 02.06.2016