

Полученное уравнение (17) описывает процесс деформирования сжатой части стержня при продольном ударе по нему бойком на этапе движения отраженной от свободного торца бойка волны растяжения ( $l_1/a_1 < t < 2l_1/a_1$ ) и совместно с уравнением, описывающим процесс сжатия стержня на этапе движения волны сжатия в бойке к свободному его торцу ( $0 < t < l_1/a_1$ ), которое было опубликовано в работе [12], полностью моделируют процесс формирования ударного импульса в стержне при продольном ударе по нему бойком.

Уравнения (13) и (17) - однородные дифференциальные уравнения второго порядка с переменными коэффициентами. Решение этих уравнений осуществляется, как правило, с использованием численных методов.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** В результате выполненных теоретических исследований получены дифференциальные уравнения, описывающие процессы деформирования сжатой части бойка и стержня при продольном упругом их соударении на этапе движения отраженной от свободного торца бойка волны растяжения ( $l_1/a_1 < t < (2l_1/a_1)$ ).

Полученные уравнения совместно с уравнениями, описывающими процессы сжатия в бойке и стержне на этапе движения волны сжатия в бойке к свободному его торцу ( $0 < t \leq (l_1/a_1)$ ), которые были опубликованы в работе [12], полностью описывают процесс формирования ударных импульсов в бойке и стержне при упругом продольном их соударении.

Результаты решений полученных дифференциальных уравнений в данной работе и дифференциальных уравнений, которые опубликованы в работе [12], и их исследований будут приведены в следующих публикациях.

#### Список литературы

1. Андреев В.Д. Формирование импульсов напряжений в ударных узлах буровых машин. - В кн.: Взрывное дело, 58/15. - М.: Недра, 1966. - с. 147-156.
2. Иванов К.И., Андреев В.Д. Разрушение горных пород ударными импульсами, генерируемыми поршнями различной формы. - В кн.: Взрывное дело, 58/15. - М.: Недра, 1966. - с. 244-253.
3. Александров Е.В., Соколинский В.Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. - М.: Наука, 1969. - 199 с.
4. Кильчевский Н.А. Динамическое контактное сжатие твердых тел. Удар. - К.: Наукова думка, 1976. - 320 с.
5. Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел. - М.: Госстройиздат, 1965. - 447 с.
6. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1975. - 575 с.
7. Włodarczyk E. Propagation of shock waves in colliding bars Proc. Vibr. Probl. Pol. Acad. Sci, 1973, vol. 14, №2, p. 145-153.
8. Chęcinska H. Mocne underzeni w ciele stalym. - Post, fiz., 1972, vol. 23, №6, p. 689-695.
9. Crine D.R. Stresse waves in rochs. - In: Shock Waves and the Mechanical Propeties of Solids. Syracuse: New York, 1971, p. 367-384.
10. Hickerson N.L. Stress wave Propagation in solids. - In: High - Velocity Impact Phenomena. N.Y.: 1970, p. 23-43.
11. Torvik P.I., Prater R.I.F. A simple model vor the Shock wave induced by high - speed impact. - I. Spacecraft and Rockets, 1972, vol. 9, №1; p. 13-18.
12. Гуливец А.А. Моделирование ударных импульсов в стержневых ударных системах // Гірничий вісник, вип. 96, Кривий Ріг, 2013. с. 241-244.

Рукопись поступила в редакцию 19.02.14

УДК 621.316.9

А.В. ПИРОЖЕНКО, канд. техн. наук, доц., Т.В. ПИРОЖЕНКО, наук. співроб.  
НДБПГ Криворізький національний університет

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИСТРОЇВ ЗАХИСТУ ВІД СТРУМІВ ВИТОК В КОМБІНОВАНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ ДО 1000 В З ІЗОЛОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

Наведено результати теоретичних досліджень якісної оцінки ефективності виконання в комбінованих мережах існуючих пристроїв захисту від струмів витоку. Обґрунтовано необхідність розробки пристрою захисту, в якому в якості оперативного джерела повинен використовуватися змінний струм непромислової частоти.

**Проблема та її зв'язок з практичними завданнями.** Захист працюючих у разі випадкового торкання до струмовідних частин електроустановок напругою до 1000 В забезпечується обмеженням величини струму через тіло людини та час впливу його на організм. Це досягається застосуванням пристроїв захисту від струмів витоку, призначених здійснювати швидкодіюче автоматичне відключення електроустановок у разі виникнення загрози ураження електричним струмом.

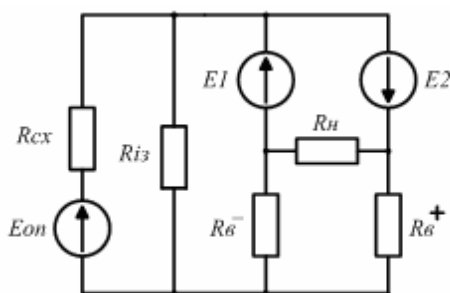
Масове впровадження напівпровідникових перетворювачів в системах регулювання електроприводами гірничих машин приводить до необхідності розглядати електричну мережу напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю як комбіновану, що складається з двох ділянок: мережі змінного (трифазна трипровідна мережа) і мережі постійного (випрямленого) струму. Обидві ділянки зв'язані через перетворювач і не мають гальванічної розв'язки.

В якості оперативної напруги в усіх відомих реле струмів витоку застосовується випрямлена напруга, яка накладається на мережу. Залежно від полярності струму витоку після перетворювача реле струмів витоку або необґрунтовано вимикають мережу під час витоку струму з позитивного полюсу перетворювача, або стають непрацездатними під час витоку струму з негативного полюсу, що фактично приводить до неможливості їх використання в комбінованих мережах.

**Аналіз досліджень та публікацій.** В цих дослідженнях прийняті відомі припущення [1], [2], а саме: трифазне джерело живлення мережі є симетричним; розподілені параметри ізоляції мережі замінювалися зосередженими; тиристори перетворювача повністю відкриті, а його навантаження має активну провідність; джерело оперативної напруги і напруги на полюсах з випрямленої сторони перетворювача замінювалися еквівалентними ЕРС за методом еквівалентного генератора; трифазний перетворювач по відношенню до кола струмів витоку розглядався як два триактних зустрічно-паралельних випрямляча, з'єднаних зіркою; ємність мережі не враховувалась.

**Постановка завдання.** Теоретичне дослідження ефективності пристроїв захисту від струмів витоку, працюючих на постійному оперативному струмі, в комбінованих мережах.

**Викладання матеріалу та результати.** Розрахункову схему, що дозволяє визначити струми спрацювання захисту з урахуванням наведених вище припущень, наведено на рис. 1.



**Рис. 1.** Розрахункова схема для визначення струмів спрацювання пристроїв захисту

Наведена схема складається з наступних елементів:  $E_{on}$  ЕРС джерела оперативної напруги;  $E_1, E_2$  ЕРС випрямленого джерела на полюсах перетворювача;  $R_{cx}$  - внутрішній опір схеми реле струмів витоку, який складається з активного опору обмоток вимірювального реле та еквівалентного опору послідовно включених резисторів в коло оперативного джерела реле;  $R_{i3}$  опір ізоляції мережі змінного струму;  $R, R_6, R_6^+$  - опір струмів витоку з негативного та позитивного полюсів за випрямлячем відповідно;  $R_n$  - опір навантаження перетворювача.

Згідно зі схемою рис. 1, використовуючи метод контурних струмів [3], для випадку  $R_6^+ = \infty$  маємо систему рівнянь

$$\begin{cases} I_{11}(R_{cx} + R_{i3}) + I_{22}R_{i3} = E_{on} \\ I_{11}R_{i3} + I_{22}(R_{i3} + R_6^-) = E_1 \end{cases} \quad (1)$$

Контурний струм  $I_{11}$  є оперативним струмом реле струмів витоку. Розв'язанням системи рівнянь (1) відносно  $I_{11}$  є

$$I_{11} = \frac{E_{on}(R_{i3} + R_6^-) - E_1R_{i3}}{R_{cx}(R_{i3} + R_6^-) + R_{i3}R_6^-} \quad (2)$$

Розв'язанням виразу (2) відносно  $R_{i3}$  є

$$R_{i3} = \frac{(E_{on} - I_{11}R_{cx})R_6^-}{(E_1 - E_{on}) + I_{11}(E_{cx} + R_6^-)} \quad (3)$$

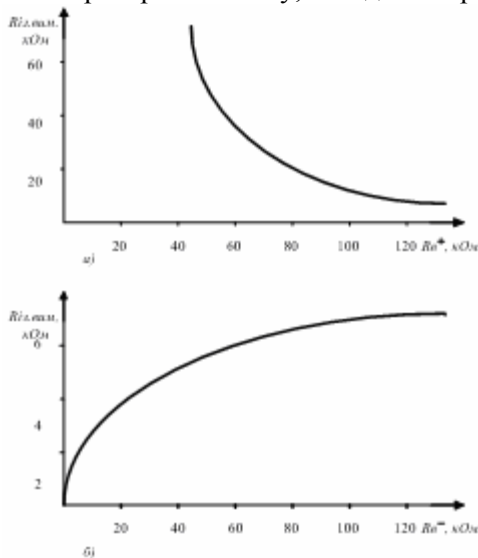
Приймаючи струм спрацювання в момент вимикання витоку постійним ( $I_{cn} = \text{const}$ ) та вважаючи у виразі (3)  $I_{11} = I_{cn}$ , отримуємо

$$R_{із.вим} = \frac{(E_{on} - I_{cn} \cdot R_{cn})R_g^-}{(E_1 - E_{on}) + I_{cn}(E_{cx} + R_g^-)} \quad (4)$$

Здійснивши аналогічні перетворювання для випадку, коли  $R_g^+ = \infty$ , отримаємо

$$R_{із.вим} = \frac{(E_{on} - I_{cn} \cdot R_{cn})R_g^-}{I_{cn}(R_{cx} + R_g^+) - (E_{on} + E_2)} \quad (5)$$

Графіки залежностей, які отримані з виразів (4) та (5) з урахуванням реальних параметрів схем пристроїв захисту, наведені на рис. 2.



**Рис.2.** Графіки залежностей уставок спрацювання пристроїв захисту від опору ізоляції позитивного полюсу перетворювача ділянки постійного струму (а) та його негативного полюсу (б)

Аналіз наведених графіків показує, що при струмах витоку з позитивного полюсу ділянки постійного струму комбінованої мережі (рис. 2а), починаючи із значення  $R_g^+ \leq 50$  кОм експлуатація мережі стає практично неможливою – спостерігається перезахист мережі. В той же час зниження ізоляції на негативному полюсі мережі після перетворювача (рис. 2б) знижує уставки спрацювання пристроїв захисту до неприпустимих значень за умовами електробезпеки і у разі глухого замикання полюса на землю повністю приводить пристрій захисту до відмови спрацювання.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Наведені дослідження переконливо показують неефективність в комбінованих мережах існуючих пристроїв захисту від струмів витоку, в яких в якості оперативного джерела використовується постійний струм.

Таким чином для захисту комбінованих мереж від струмів витоку необхідно розроблення пристрою захисту, в якому в якості оперативного джерела повинен використовуватися змінний струм непромислової частоти.

Таким чином для захисту комбінованих мереж від струмів витоку необхідно розроблення пристрою захисту, в якому в якості оперативного джерела повинен використовуватися змінний струм непромислової частоти.

### Список літератури

1. Колосюк В.П., Миц В.Н., Регьян А.К. Расчет токов утечки в трехфазной сети, питающей нагрузку через выпрямитель. – Электричество. 1985, № 7. - С. 54-56.
2. Колосюк В.П. Метод определения токов утечки комбинированных электрических сетей. - Горная электромеханика и автоматика. Днепропетровск. 1985, вып. 46. - С. 12-16.
3. Бойко В.С., Бойко В.В., Видолоб Ю.Ф. Теоретичні основи електротехніки. – К.: Політехніка, 2004. - 272 с.

Рукопис подано до редакції 22.01.14

УДК 628.511:534

О.Е. ЛАПШИН, д-р техн. наук, проф., М.В. АНДРЕЙЧИКОВ, аспирант  
Криворожский национальный университет

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУХОЙ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Статья посвящена вопросу эффективности пылеулавливания. Содержатся теоретические исследования инерционного осаждения в средствах пылеулавливания в зависимости от начальной концентрации пыли и ее дисперсности, а также результаты экспериментальных исследований. В этой статье заостряется внимание на условиях работы на горно-обогатительных фабриках.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Стабилизация и экономический подъем горно-металлургического комплекса страны требует поиска новых эффектив-