

УДК 621.647.1:621.316.1

С.А. Руссіян (канд. техн. наук)

Донецький національний технічний університет

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ  
У ЛАНЦІ РЕАГУЮЧОГО ОРГАНУ АПАРАТА ЗАХИСТУ ВІД  
ВИТОКІВ СТРУМУ НА ЗЕМЛЮ ТИПУ АЗУР-5**

*Досліджено вплив процесів в електромережі дільниці шахти при комутації кабельного відгалуження на параметри стійкості функціонування апарата захисту від струмів витoku на землю.*

**Ключові слова:** шахтна електрична мережа, виток струму на землю, апарат захисту, процес комутації, електричні параметри.

**Постановка задачі та її актуальність.** У вугільній промисловості України почався процес переведення систем електропостачання дільниць шахт на більш високий рівень номінальної напруги із 1140В на 3,3 кВ. Цей крок обумовлений тенденцією до підвищення енергетичних показників шахтного технологічного устаткування, а також актуальністю зменшення енерговитрат в елементах системи електропостачання. Однак, запровадження більш високого рівня ускладнює задачі дотримання заданих нормативних параметрів електробезпеки експлуатації шахтних дільничних електротехнічних комплексів і потребує корекції параметрів засобів захисту від електроураження. Однією з основних задач у цьому напрямі є мінімізація кількості хибних спрацьовувань апаратів захисту (АЗ) від витоків струму на землю, обумовлених комутаційними перехідними процесами в дільничній мережі. Цим обумовлена необхідність досліджень з метою створення наукової бази вирішення питань удосконалення функціональних властивостей АЗ.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Результати досліджень перехідних процесів у дільничних електричних мережах, що впливають на роботу апаратів захисту від витоків струму на землю, розглянуті в [1; 2]. Ці дослідження проводилися стосовно до електричних мереж, переважно, при напрузі 660 В і в подальшому поширені на мережі з напругою 1140 В. При напрузі 3,3 кВ істотно змінилася система захисту та приєднання ланцюга оперативного параметру АЗ до мережі (місцем приєднання є нульова точка трансформатора комплектної підстанції дільниці). Забезпечення необхідної швидкодії 50 мс [2] вирішу-

ється запровадженням додаткового виконавчого органу і т. д. У цілому, створюється структура принципово нового засобу захисту від витоків струму на землю в шахтній дільничній мережі напругою 3,3 кВ, яка є основою схеми апарата АЗУР-5, має суттєві відмінності від схем АЗ всіх попередніх серій і тому потребує додаткових досліджень щодо впливу на неї комутаційних перехідних процесів дільничної мережі.

**Постановка задачі.** Задачею досліджень є аналіз особливості впливу факторів, обумовлених конфігурацією електромережі дільниці шахти, на зміну оперативного параметра апарата захисту від витоків струму на землю типу АЗУР-5 при комутації кабельного відгалуження.

**Основний матеріал і результати дослідження.** Ефективність захисту від витоків струму на землю в мережі напруги 3300 В має бути забезпечена засобами перешкоджання хибному спрацьовуванню АЗ через вплив комутаційних перехідних процесів, що відбуватимуться у мережі електротехнічного комплексу. Ця функція може бути виконана за умови підтримання коефіцієнта впливу комутаційного процесу ( $\lambda_{\text{ком}}$ ) на рівні:

$$\lambda_{\text{ком}} = \frac{U_{\text{ком max}}}{U_{\text{спр}}} < 1, \quad (1)$$

де  $U_{\text{ком max}}$  – амплітуда напруги на реагуючому органі АЗУР-5, обумовлена комутаційним перехідним процесом у дільничній мережі;  $U_{\text{спр}}$  – напруга (мінімальна) на реагуючому органі АЗУР-5, що приводить до спрацювання захисту.

Попередніми дослідженнями встановлено, що результатом впливу комутаційного перехідного процесу в дільничному електротехнічному комплексі на роботу засобу захисту від витоків струму на землю є короткочасне (імпульсне) підвищення напруги на резисторі цього реагуючого органу [1]. Це може стати причиною хибного спрацювання останнього. Отже, технічним рішенням, спроможним обмежити амплітуду імпульсу напруги на реагуючому органі апарата АЗУР-5, обумовленого комутаційним перехідним процесом, слід вважати застосування засобу обмеження амплітуди і швидкості наростання напруги. Вказані обмежуючі функції є властивими схемі RC – фільтру низької частоти. Однак застосування останнього може спричинити зменшення чутливості апарата АЗУР-5. Тому задачею дослідження слід вважати встановлення раціональних параметрів

$RC$  – приєднання, здатного обмежити на достатньому рівні впливові фактори комутаційного процесу при дотриманні прийнятних показників швидкодії захисту.

Технічно це може бути реалізовано паралельним приєднанням окремих  $RC$  – секцій, кожна з яких утворена окремими ступенями активного опору і ємності. Величини цих ступенів можуть бути встановлені з наступного обґрунтування. Відповідно до параметрів імпульсу напруги (максимальної амплітуди) на реагуючому органі АЗУР-5, що обумовлена впливом комутаційного перехідного процесу в електротехнічному комплексі дільниці розраховуються мінімальні параметри  $RC$  – фільтра, функціонування якого призводить до десятикратного зменшення амплітуди напруги вказаного імпульсу впливу. Надалі параметри опору і ємності цього  $RC$  – фільтру мають бути поділені на “ $n$ ” окремих елементарних ступенів, що будуть обумовлювати параметри опору і ємності кожної з “ $n$ ”  $RC$  – секцій (рис. 1). Отже, у залежності від розгалуженості кабельної мережі, довжин і перерізів застосованих кабелів кількість необхідних елементарних приєднань  $RC$  – секцій може варіюватись. Прийнятна їх кількість відповідатиме стану, коли впливовий параметр на хибне спрацьовування апарату АЗУР створюватиметься комутацією силового приєднання з ємністю ізоляції  $C_{із} = 0,5$  мкФ/фазу [3]. У напрямі подальшого дослідження введемо припущення:  $n_{\max}=6$ .

З іншого боку, імпульс впливу на резистор реагуючого органу апарату АЗУР-5 може бути представлений сукупністю гармонік напруги, частоти яких перевищують 100 Гц. Отже, обмеження амплітуди імпульса напруги на цьому резисторі полягатиме в обмеженні амплітуд відповідних складових гармонік шляхом паралельного підключення певної кількості  $RC$  – секцій.

Розрахунками, з урахуванням параметрів схеми формування оперативного параметру АЗУР-5 встановлена припустимість прийняття наступних параметрів окремих (елементарних)  $RC$  – секцій:  $R=10$  кОм,  $C=1$  мкФ. Тоді постійна часу:  $T=RC=10^4 \cdot 10^{-6}=0,01$ с.

Уточнення достатньої кількості  $RC$  – секцій доцільно виконати дослідженням процесів у шахтному дільничному електротехнічному комплексі [3] засобами математичного та комп’ютерного моделювання. Отримані діаграми миттєвого значення напруги оперативного параметру апарату АЗУР-5, дають уявлення про характер зміни і величину параметрів в засобі формування оперативного параметру при комутації силового відгалуження та при наявності струму витoku на

землю, в разі застосування  $RC$  – секцій від двох до шести. Моделювання проводилось за умови, що комутаційний процес в дільничній мережі відбувається стосовно включення силового приєднання з ємністю ізоляції  $0,5$  мкФ/фазу [4] обумовлює максимальну амплітуду імпульсу напруги на реагуючому органі апарата АЗУР-5 (рис. 2 - 5).

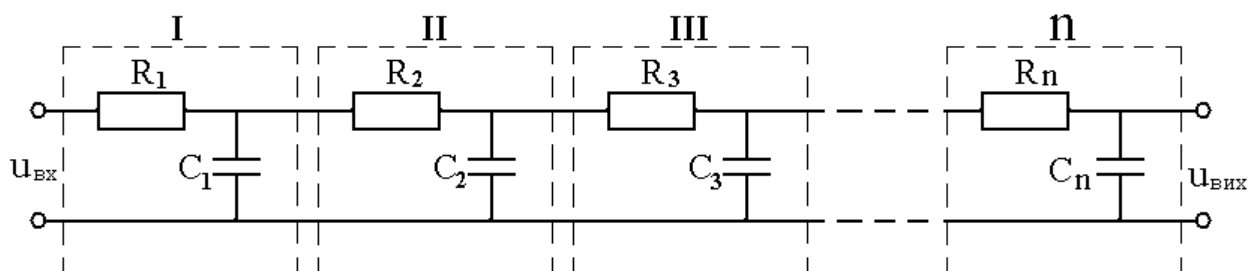


Рисунок 1 - Загальний вид пропонуемого фільтру низьких частот

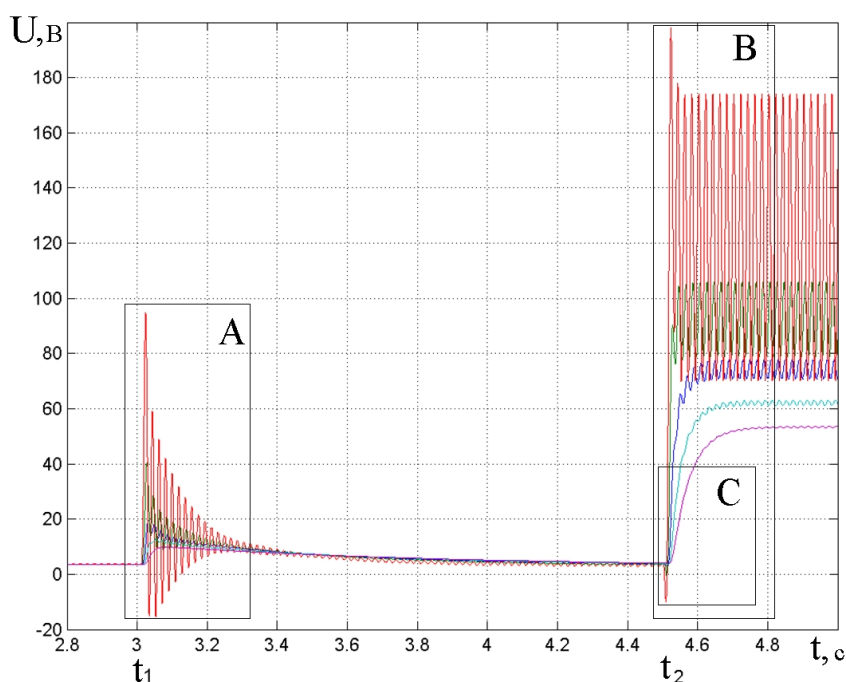


Рисунок 2 – Загальний вид діаграми миттєвих значень напруги на вимірювальному елементі апарата АЗУР-5 при включенні відгалуження мережі ( $t_1=3,01$  с) та виникненні струму витoku на землю ( $t_2=4,5$  с) при різноманітній кількості  $RC$  - секцій ( $n=2\dots6$ )

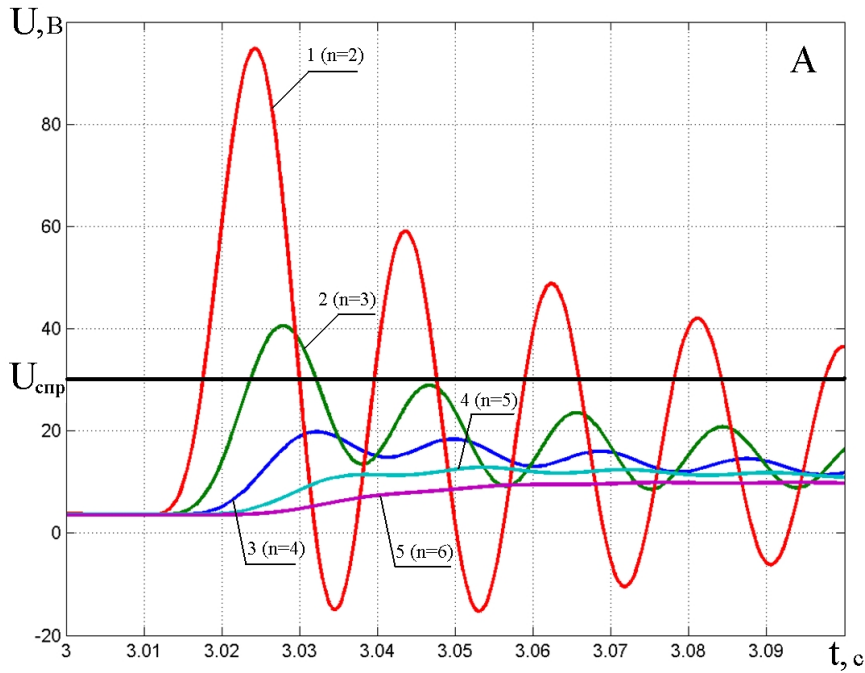


Рисунок 3 – Фрагмент А діаграми миттєвих значень напруги на вимірювальному елементі апарата АЗУР-5 при включенні відгалуження ( $t_l=3,01$  с) при різноманітній кількості  $RC$ -секцій ( $n=2\dots 6$ )

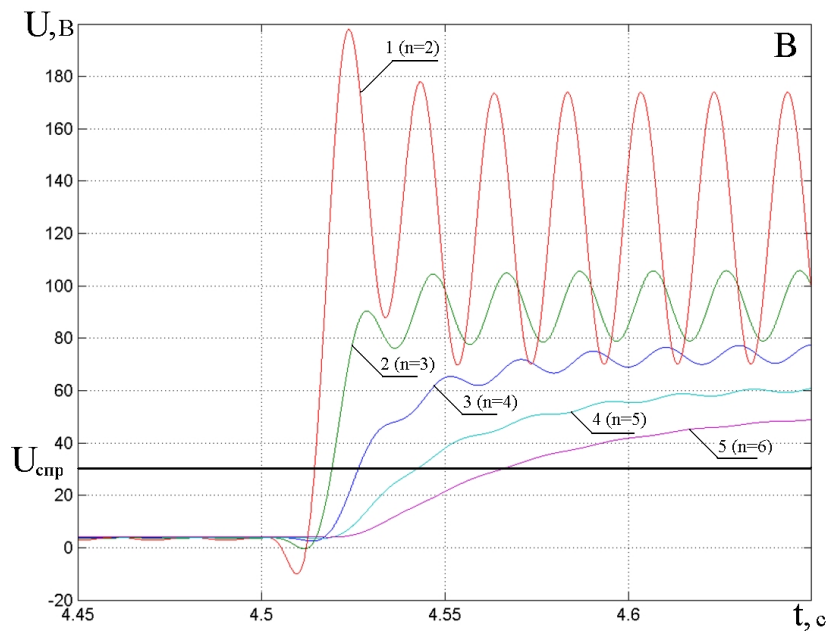


Рисунок 4 – Фрагмент В діаграми миттєвих значень напруги на вимірювальному елементі апарата АЗУР-5 при виникненні однофазного струму витоку на землю  $R_{\text{вум}}=1$  кОм при різноманітній кількості  $RC$ -секцій ( $n=2\dots 6$ )

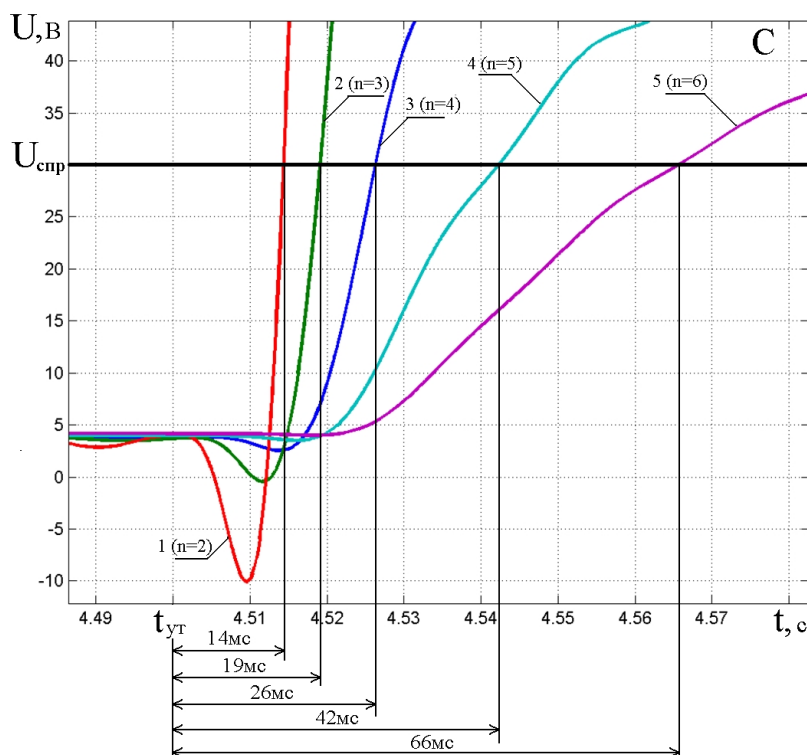


Рисунок 5 – Фрагмент С діаграми миттєвих значень напруги на вимірювальному елементі апарата АЗУР-5 при виникненні однофазного струму витоку на землю  $R_{вум}=1$  кОм при різноманітній кількості  $RC$ -секцій ( $n=2\dots6$ ), та визначення терміну захисного спрацювання апарата АЗУР-5

Аналіз результатів математичного моделювання перехідних процесів у ланці визначення оперативного параметру апарата АЗУР-5 при комутації відгалуження мережі та при виникненні однофазного струму витоку на землю наведений в табл. 1.

У результаті математичного моделювання перехідних процесів у ланці визначення оперативного параметру апарата захисту від витоків струму на землю типу АЗУР-5 отримано інтервали існування відносного перевищення напруги спрацювання при комутації відгалуження мережі (рис. 6,а) та при виникненні однофазного струму витоку на землю наведені (рис. 6,б).

У точках 1, 2 (за наявності комутаційного перехідного процесу в дільничній мережі) має місце хибне спрацювання, апарату захисту АЗУР-5 ( $\lambda > 1$ ), що робить не прийнятною кількість  $RC$ -секцій ( $n < 3$ ) застосованих у відповідній конфігурації схеми АЗУР-5.

Розглянемо випадки  $n=4$ ,  $n=5$ ,  $n=6$ . Зі збільшенням кількості  $n$  зменшується  $\lambda$ , однак істотно збільшується термін спрацювання

А3. Тому оптимальним є приєднання чотирьох  $RC$  - секцій ( $n=4$ ), оскільки з допустимої області (де  $\lambda < 1$ ) він характеризується найменшим терміном спрацювання апарата АЗУР-5.

Таблиця 1 – Кількісні показники моделювання перехідних процесів у ланці визначення оперативного параметру апарата захисту від витоків струму на землю типу АЗУР-5, обумовлених включенням кабельного відгалуження дільничної мережі або створенням ланцюга витoku струму (підвищеної провідності) на землю з величиною опору  $R_{вит}=1$  кОм

включення відгалуження мережі						виникнення однофазного струму витoku ( $R_{вит}=1$ кОм)			
№ кривої	кількість $RC$ - секцій, $n$	характер перехідного процесу	перевищення уставки спрацювання апарата АЗУР-5	$U$ на реагуючому елементі, В	відносне перевищення напруги спрацювання $\lambda_{ком} = U_{max} / U_{спр}$	термін спрацювання АЗУР-5 $t_{спр}$ , мс	$U_{max}$ на реагуючому елементі, В	відносне перевищення напруги спрацювання $\lambda_{ут} = U_{max} / U_{сраб}$	спрацювання апарату захисту АЗУР-5
1	2	коливальний	+	95	3,15	14	198	6,6	+
2	3		+	41	1,37	19	106	3,53	+
3	4		-	20	0,66	26	78	2,6	+
4	5	аперіодичний з перерегулюванням	-	13	0,43	42	63	2,1	+
5	6		-	10	0,3	66	54	1,8	+

При  $n=5$  (6)  $t_{спр}=42$  мс (66 мс), тобто більш ніж у 1,5 (2,5) рази перевищує 26 мс, що є неприпустимим. Крім того, необґрунтоване збільшення кількості  $RC$  – секцій в схемі вимірювального органу АЗУР-5 не є раціональним, оскільки зменшує параметри його надійності в цілому. При виникненні струму витoku на землю за умови  $n=4$  відносне перевищення напруги спрацювання  $\lambda=2,6$ , тобто апарат гарантовано має спрацювати з необхідним запасом ( $U_{max} > U_{спр}$  у 2,6 рази).

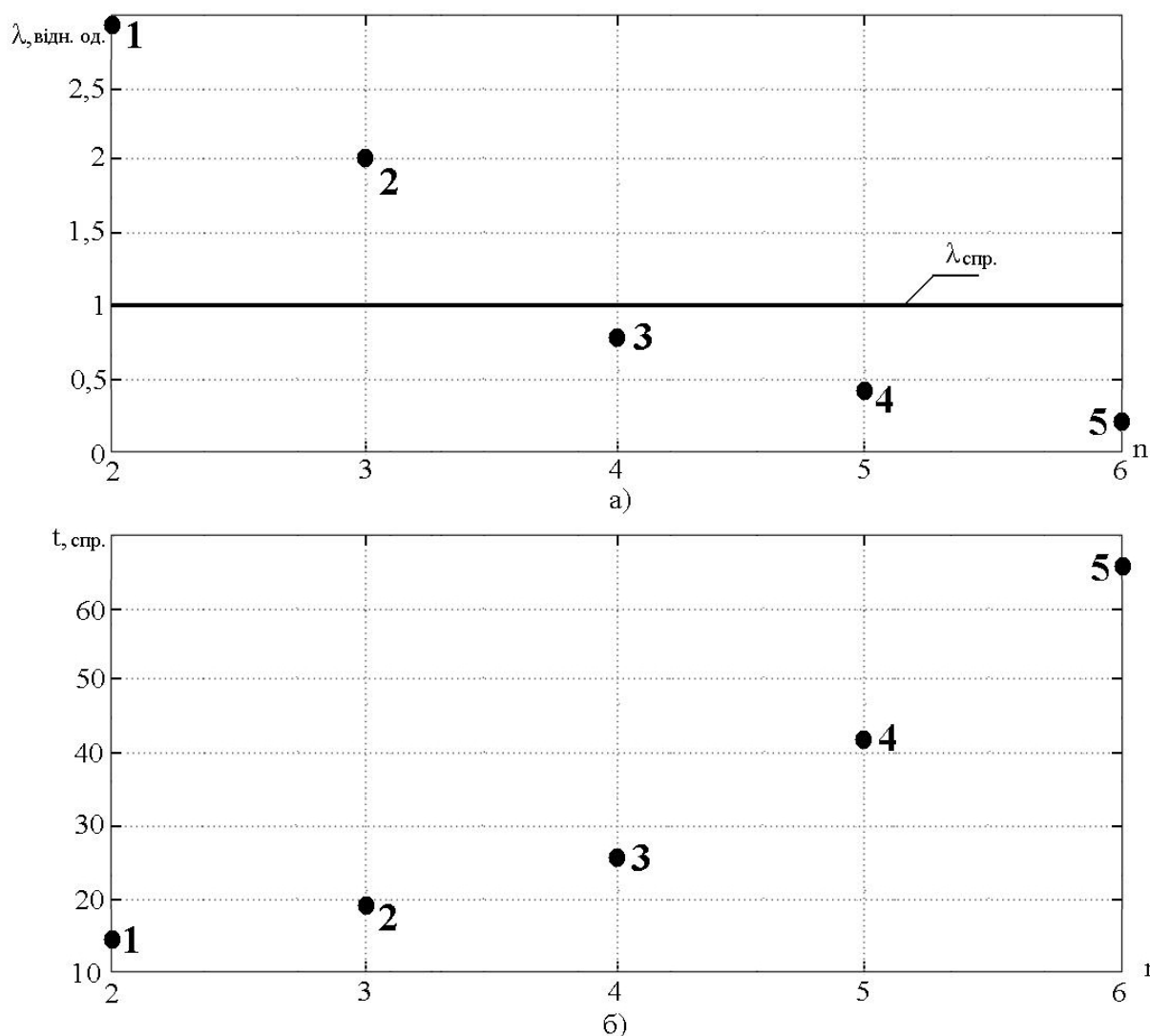


Рисунок 6 – Координати відносного перевищення напруги спрацювання при комутації відгалуження мережі (а) та виникненні однофазного струму витоків на землю (б)

**Висновки і напрями подальших досліджень.** Запровадження номінальної напруги підвищеного рівня (3300В) в електротехнічних комплексах технологічних ділянок гірничих підприємств є об'єктивною необхідністю при застосуванні технологічного устаткування підвищеної потужності. Умовою застосування в діляничних електромережах напруги такого рівня є підвищення чутливості і швидкодії спрацьовування засобу захисту діляничної електромережі від витоків струму на землю. Цим вимогам має відповідати схема перспективного захисного засобу (апарат АЗУР-5). Однак умовою ефективного його застосування має бути підтримання стійкості проти хибного спрацьовування від комутаційних перехідних процесів діляничної електромережі. При застосуванні напруги 3300В впливова дія



цих процесів суттєво підвищена у порівнянні з експлуатацією сучасних шхтних дільниць.

Обґрунтована доцільність застосування ланцюга з “n” паралельних приєднань РС – ланок як засобу запобігання впливу комутаційного перехідного процесу дільничної мережі на хибне спрацьовування апарату АЗУР-5. Теоретично визначені параметри і кількість елементарних РС – ланок та обґрунтовані їх параметри:  $n=4$ ,  $R=10$  кОм,  $C=1$  мкФ.

#### Список літератури

1. Дзюбан В.С. Взрывозащищенные аппараты низкого напряжения / В.С. Дзюбан. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 240 с.
2. Требования к изготовлению рудничного взрывозащищенного электрооборудования на напряжение 3(3,3) кВ. Министерство угольной промышленности Украины. – Макеевка, 2007. – 30 с.
3. Дзюбан В.С. Вплив параметрів дільничної електромережі шахти на стійкість роботи апарату АЗУР-5 при комутації кабельного відгалуження / В.С. Дзюбан, А.В. Горохов, С.А. Руссиян // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. серія гірничо-електромеханічна. – 2011. – Вип. 21 (189). – С. 59-64.
4. Дзюбан В.С. Требования к взрывозащищенному электрооборудованию в системах электроснабжения горных машин на напряжение 3 (3,3) кВ / В.С. Дзюбан, Н.М. Басов // Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «АИР», 2009. – С. 209-213.

*Стаття надійшла до редакції 06.10.2012*

#### ***С.А. Руссиян. Донецкий национальный технический университет***

#### **Влияние параметров участковой электросети шахты на устойчивость работы аппарата АЗУР-5 при коммутации кабельного ответвления**

*Исследовано влияние процессов в электросети участка шахты при коммутации кабельного ответвления на параметры устойчивости функционирования аппарата защиты от утечек на землю.*

**Ключевые слова:** шахтная электрическая сеть, утечка тока на землю, аппарат защиты, процесс коммутации, электрические параметры.

#### ***S. Russiyan. Donetsk National Technical University***

#### **The Influence of Electrical Network Parameters on the Stability of AZUR-5 Performance in Case of Cable Branch Commutation.**

*We studied the influence of the processes, which take place in a local mine electrical network in case of cable branch commutation, on the parameters of stable functioning of a leakage protection device.*

**Keywords:** mine electrical network, current leakage, protection device, commutational processes, electrical parameters.