

УДК 621.316.3

К.М. Маренич (канд. техн. наук, доц.)ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк
кафедра «Гірнична електротехніка і автоматика ім. Р.М. Лейбова»,
E-mail: gea@dgtu.donetsk.ua ; kmarenych@i.ua**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СХЕМИ ЗАСОБУ
АВТОМАТИЧНОГО ЗАХИСТУ ВІД ВИТОКІВ СТРУМУ НА ЗЕМЛЮ ЩОДО
РЕАКЦІЇ НА ВПЛИВ КОМУТАЦІЙНОГО ПЕРЕХІДНОГО ПРОЦЕСУ**

В результаті експериментальних досліджень визначена особливість впливу процесу комутації силового приєднання в дільничній електромережі шахти на величину оперативного параметру засобу автоматичного захисту від витоків струму на землю, включаючи окремі структурні складові його схеми, параметри активно-ємнісних складових ізоляції кабельної мережі і швидкодії комутації силового приєднання.

Ключові слова: електротехнічний комплекс, шахта, електроураження, коло витоків струму на землю, апарат захисту, хибне спрацьовування, комутація, перехідний процес, електричні параметри, експеримент.

Загальна постановка проблеми

Шахтні дільничні електротехнічні комплекси є потужними споживачами електроенергії. До їх складу входять чисельні асинхронні електроприводи технологічного устаткування, що є не стаціонарним. Тому другою відзнакою таких об'єктів є наявність розгалуженої системи гнучких кабелів достатньо великих протяжності і перерізів. Все це обумовлює підвищення загрози електроураження людини в разі торкання струмоведучої жили, незважаючи на обов'язковість застосування виключно режиму ізольованої нейтралі трансформатора через ймовірність пошкодження ізоляції гнучкого кабелю (в умовах шахти) та наявність ємнісних провідностей ізоляції кабелю, що обумовлено його конструкцією. Тому Правилами безпеки поставлена вимога щодо обов'язкового застосування засобів захисту від витоків струму на землю в складі кожного розподільчого пункту системи електропостачання шахтних дільниць [1; 2]. Захисне спрацьовування таких засобів має місце в разі перевищення їхнім оперативним параметром (що обумовлений струмом витоків на землю) встановленої величини. Однак, наявність активно-ємнісних опорів ізоляції кабелів є умовою утворення перехідних процесів в мережі при комутації будь-якого силового приєднання, що також визначає короткочасне підвищення оперативного параметра захисного засобу і визначає ймовірність його хибного спрацьовування.

Постановка задачі дослідження

Доведена теоретично ймовірність хибного спрацьовування засобу автоматичного захисту від витоків струму на землю внаслідок впливу комутаційного перехідного процесу [3] дозволила визначити неприйнятні за цим фактором параметри розгалуженості дільничної кабельної мережі, що узагальнюються величинами активного опору та ємності ізоляції і стосуються мереж найближчої перспективи, потужність яких є більшою, ніж сучасні (тобто, ємність ізоляції перевищуватиме 1,0 мкФ на фазу при ємності ізоляції окремого приєднання, більшій, ніж 0,15 мкФ на фазу). Тим не менш, набуті теоретичні висновки потребують експериментальної перевірки.

Задачею дослідження є експериментальне визначення властивостей впливу комутаційного перехідного процесу в умовах шахтного дільничного електротехнічного комплексу на стійкість проти хибних спрацьовувань засобу автоматичного захисту від витоків струму на землю.

© Маренич К.М., 2013

Основний матеріал дослідження

Електротехнічний комплекс як об'єкт дослідження представлений схемою станда (рис. 1). Факторами, суттєвого впливу на параметри комутаційного перехідного процесу є активні опори і ємності ізоляції кабеля до та після силового комутатора KM_1 . В залежності від способу комутації, у якості силового комутатора може бути контактор пускача або тиристорний регулятор напруги пристрою повільного пуску асинхронного двигуна.

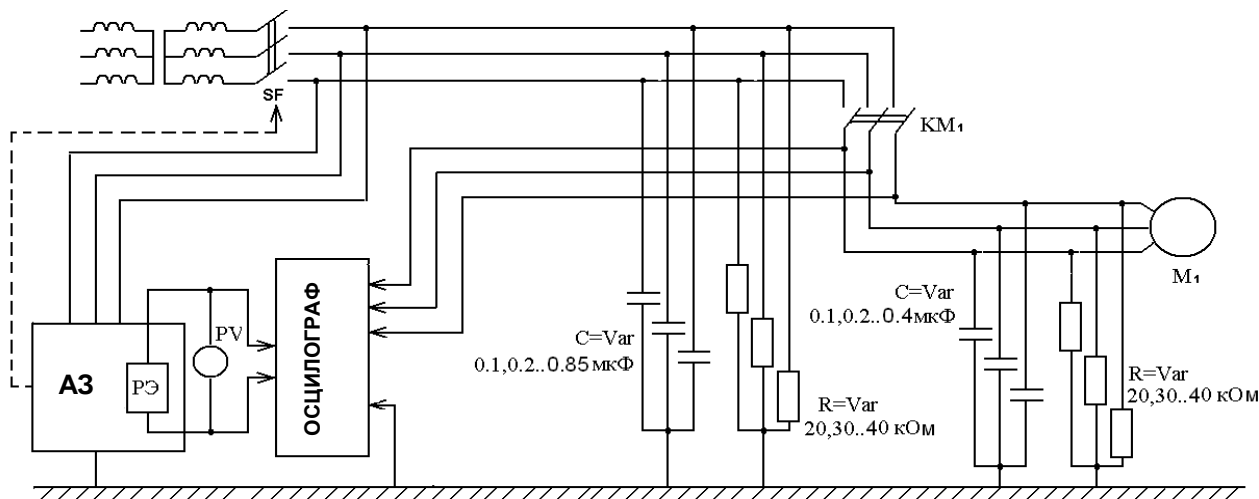


Рисунок 1 - Схема станда для дослідження перехідних процесів в оперативному ланцюзі апарата захисту (АЗ) від витоків струму на землю

У якості об'єкта дослідження використовувався апарат захисту від витоків струму на землю типу АЗУР-4; навантаженням трифазної мережі 660 В виступає асинхронний двигун ЕДКОФ 250 потужністю 55 кВт.

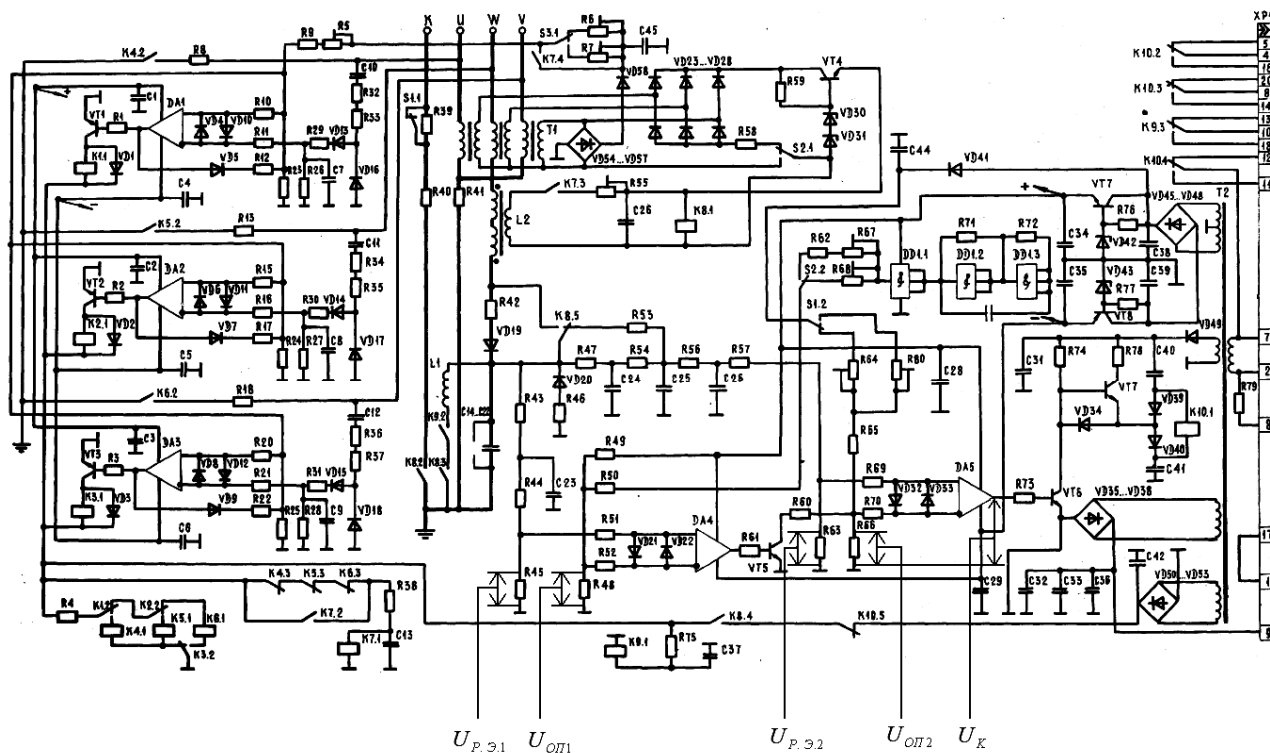


Рисунок 2 - Принципіальна електрична схема апарата АЗУР з позначенням місць контролю параметрів схеми при визначення її реакції на вплив комутаційного перехідного процесу

Реєстрація вимірюваних параметрів здійснюється цифровим багатоканальним осцилографом «Рекон». При цьому, параметрами, що характеризують реакцію схеми на комутаційний перехідний процес в мережі є наступні (рис. 2): U_{PE1} ; U_{PE2} - напруги на реагуючому елементі АЗ, відповідно, 1-й та 2-й вимірювальні канали; U_{OP1} ; U_{OP2} - опорні напруги, відповідно, 1-й та 2-й вимірювальні канали; U_K - напруга виходу компаратора апарата захисту (АЗ); U_{AB} - напруга датчика спрацьовування автоматичного вимикача SF мережі, $U_{ЗМН}$ - напруга зміщення нейтралі мережі.

В процесі досліджень для умов, що регламентовані діючими нормативами [2] (максимальна сумарна ємність ізоляції мережі 1,0 мкФ/фазу; максимальна ємність ізоляції приєднання, що комутується 0,15 мкФ/фазу) не виявили хибних спрацьовувань апарата АЗУР-4 при контакторній комутації, однак встановлено підвищення оперативної напруги до рівня, меншого, але співрозмірного з величиною спрацьовування захисту. Однак, враховуючи на тенденції щодо підвищення розгалуженості кабельної мережі і застосування кабелів збільшених довжин і перерізів модель кабельного приєднання була скоригована, і дослідження виконане для випадку комутації силового приєднання з ємністю ізоляції відносно землі в межах 0,16 мкФ/фазу ÷ 0,40 мкФ/фазу при загальній ємності ізоляції мережі 1,0 мкФ/ фазу.

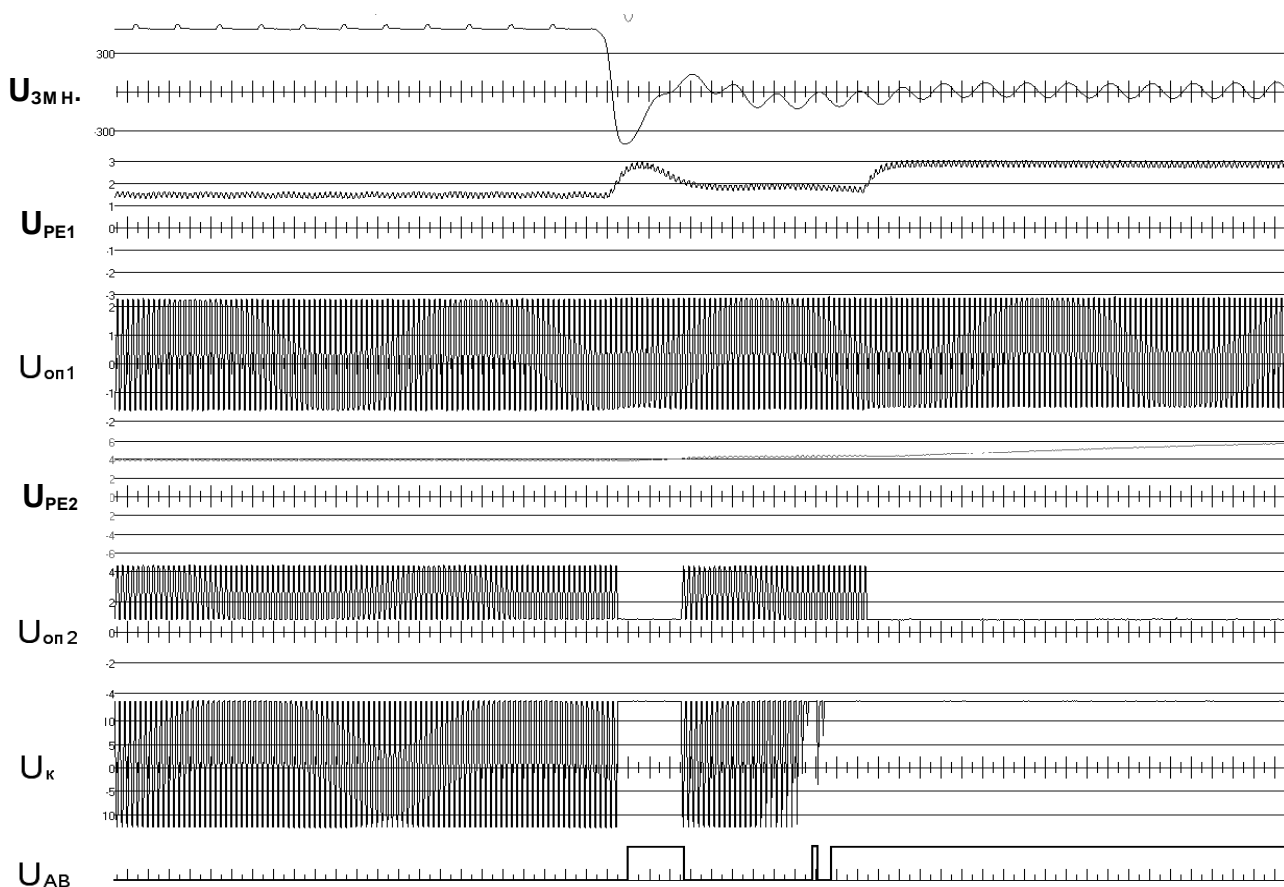


Рисунок 3 – Осцилограми параметрів апарата АЗУР-4 в контрольних точках (відповідно до рис. 2) в процесі реакції схеми на перехідний процес комутації приєднання трифазної мережі напруги 660 В з ємністю ізоляції приєднання 0,4 мкФ/ фазу при загальній ємності ізоляції мережі 1.0 мкФ/фазу. Частота струму мережі – 50 Гц.

В цьому разі реакцією схеми апарата АЗУР-4 на комутаційний перехідний процес стало підвищення амплітуди оперативного параметру на реагуючому елементі U_{PE1} до рівня

спрацьовування захисту. Формування вихідної команди компаратора $U_K A3$ і реагування на неї U_{AB} виконавчого засобу – автоматичного вимикача SF зафіксовано відповідними осцилограмами (рис. 3).

Поряд з цим, зафіксована відсутність реакції схеми апарата АЗУР-4 на процес регульованої комутації силового електричного приєднання при застосування трифазного тиристорного регулятора напруги при запровадження імпульсно-фазового регулювання вихідної напруги регулятора (напруги живлення асинхронного двигуна М1) при її збільшенні в процесі пуску двигуна за лінійним законом від фіксованого зменшеного ($0,2U_H$) до номінального (U_H) рівня. (рис.4).

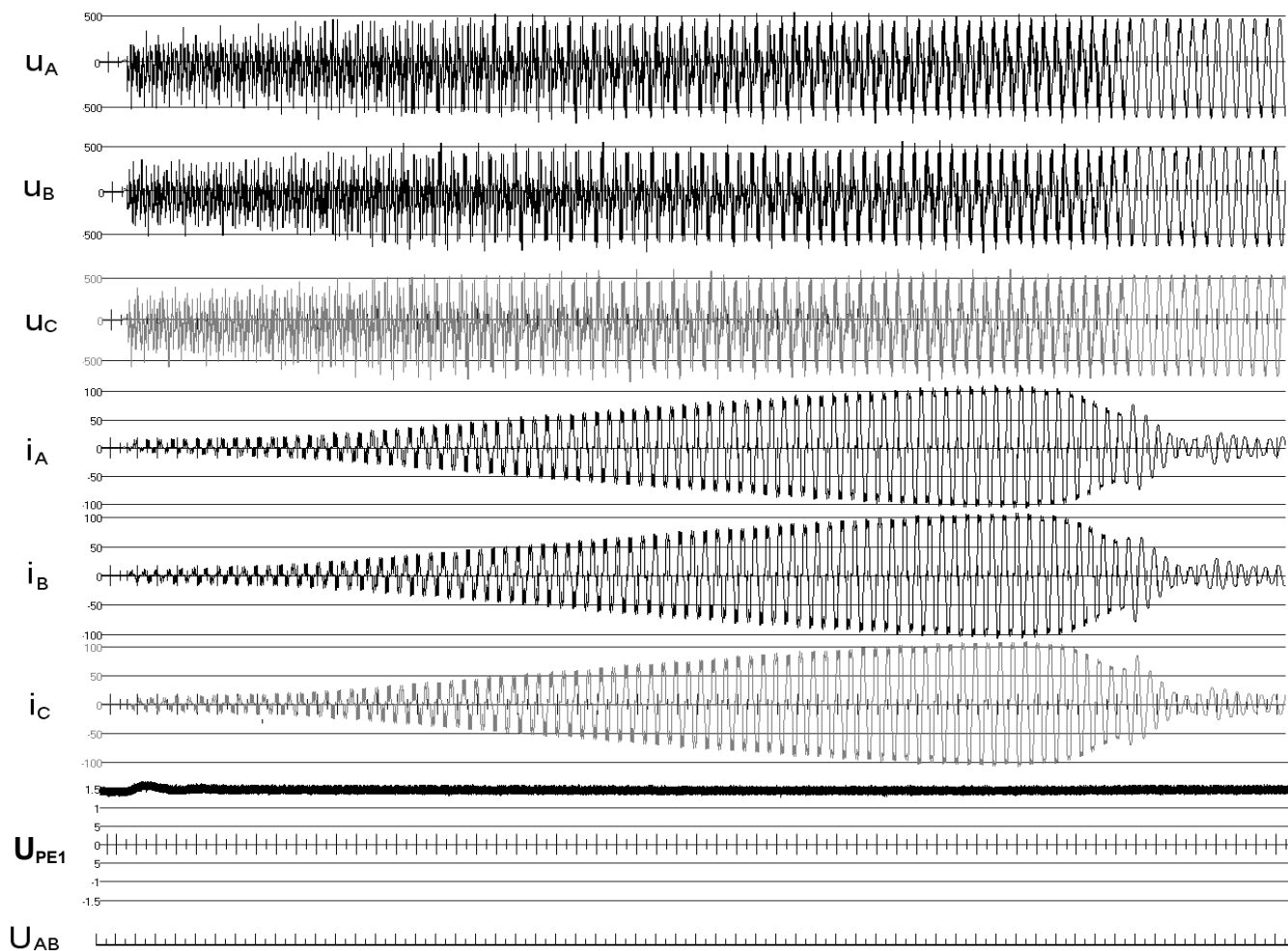


Рисунок 4 – Осцилограми параметрів реакції схеми апарата АЗУР-4 на процес регульованої комутації силового приєднання трифазної мережі напруги 660 В з ємністю ізоляції приєднання 0,4 мкФ/ фази при загальній ємності ізоляції мережі 1.0 мкФ/фази $U_A; U_B; U_C; I_A; I_B; I_C$ - відповідно , фазні напруги і фазні струми мережі (частоти 50 Гц)

Узагальнені результати дослідження наведені в табл.1 Для порівняння дослідження були проведені окрім схеми з апаратом АЗУР-4 і для схеми з апаратом АЗУР-1. Статистична обробка результатів вимірів напруги на реагуючому органі АЗУР-4 при зміні активного опору ізоляції від 30 кОм/фази до 40 кОм/фази виконана за методикою класичної теорії інженерного експерименту і наведена в табл. 2

Реакція схем на процес контакторної комутації при підвищеній ємності ізоляції комутуємого приєднання у більшості випадків була негативною через стрибкоподібну зміну амплітуди оперативного параметру при її збільшенні до рівня спрацьовування апарата. Це дозволяє зробити висновок про необхідність коригування схеми реагуючого органу АЗ в разі застосування його в шахтних дільничних електромережах із збільшеними довжинами та перерізами гнучких кабелів або доцільність використання для вказаних умов засобів регульованої комутації силових електричних приєднань.

Таблиця 1
Результати експериментів із визначення факту хибного спрацьовування апаратів АЗУР-1 і АЗУР-4 при комутації відгалуження мережі

Параметри мережі		Тривалість імпульсу на реагуючому елементі АЗУР-1 (факт спрацьовування АВ)	Тривалість імпульсу на реагуючому елементі АЗУР-4 (факт спрацьовування АВ)
R_{I3} , кОм/фаза	C_c , мкФ/фаза		
30	0,15	14 мс (відсутнє)	11 мс (відсутнє)
	0,2	спрацьовування	20 мс (відсутнє)
	0,25		спрацьовування
	0,4		
32	0,15		17 мс (відсутнє)
	0,2	19 мс (відсутнє)	16 мс (відсутнє)
	0,25	спрацьовування	спрацьовування
	0,4		
40	0,15	10 мс (відсутнє)	8 мс (відсутнє)
	0,2	14 мс (відсутнє)	9 мс (відсутнє)
	0,25	спрацьовування	18 мс (відсутнє)
	0,4		спрацьовування

Таблиця 2
Статистично оброблені результати виміру напруги на реагуючому органі АЗУР-4 при регульованому включенні відгалуження мережі

№ дослідів	Ємність мережі C_c , мкФ/фаза	Вибіркові значення напруга на реагуючому органі АЗУР-4 U , В	Вибіркове емпіричне математичне очікування \bar{U} , В	Вибіркове емпіричне стандартне відхилення S_U , В	$t \frac{S_U}{\sqrt{n}}$, В при $\gamma = 0,95$	Вибіркове теоретич. математичне очікування, В
1 - 5	0,4	1,63; 1,57; 1,41; 1,25; 1,16	1,30	0,12	0,17	1,40
6 - 10	0,6	1,74; 1,69; 1,62; 1,53; 1,50	1,52	0,11	0,15	1,49
11 - 15	0,8	1,97; 1,82; 1,71; 1,64; 1,55	1,61	0,11	0,16	1,61
16 - 20	1,0	2,36; 2,16; 1,92; 1,81; 1,70	1,87	0,10	0,21	1,87

Результати експериментів узгоджуються з попередніми теоретичними розрахунками [3], які представлені діаграмами (рис. 5; рис. 6) і визначають умови, що сприятимуть хибному спрацьовуванню АЗ під впливом процесу контакторної комутації силового приєднання шахтної дільничної мережі.

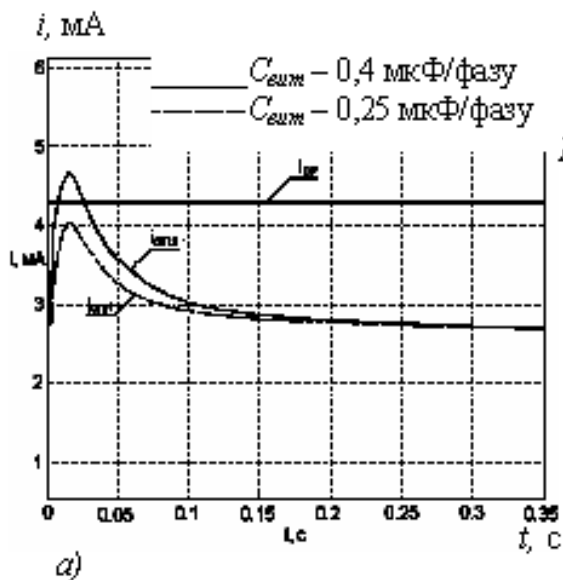


Рисунок 5 - Залежність амплітуди струму на реакуючому органі АЗУР-1 при $R_{\text{сум}} = 50 \text{ кОм/фазу}$

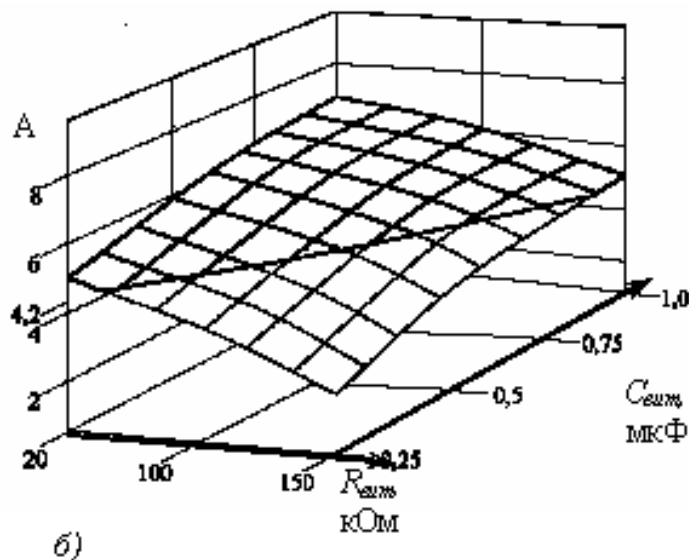


Рисунок 6 - Розрахункова залежність амплітуди струму на реакуючому органі АЗУР-1 від параметрів ізоляції кабелю невідключної частини мережі у вигляді: *а* – тривимірного графіка, *б* – контурного графіка

Висновки

Експериментально підтверджено, що технічні можливості апаратів захисту типів АЗУР-1 і АЗУР-4 відносно стійкості до хибних спрацьовувань при контакторній комутації силових ланцюгів споживачів, повністю відповідають вимогам ГОСТ 22929-78 щодо прийнятого в ньому граничного параметра ємності ізоляції одного приєднання $0,15 \text{ мкФ/фазу}$ (при загальній ємності ізоляції кабелів системи електропостачання дільниці $1,0 \text{ мкФ/фазу}$).

При збільшенні ємності ізоляції відносно землі приєднання, що комутується, (внаслідок застосування кабелю підвищеної довжини і (або) перетину) стійкість апарата АЗУР-1 і АЗУР-4 проти хибних спрацьовувань під впливом комутаційних процесів може бути забезпечена, зокрема, застосуванням засобів регульованої комутації споживачів, або при контакторній комутації за умови коригування схеми реакуючого органу апарата захисту від витоків струму на землю шляхом застосування елементів обмеження амплітуди електричного параметру в ланцюзі оперативного струму АЗ, обумовленого комутаційним перехідним процесом.

Напрямом подальших досліджень слід вважати обґрунтування структури і параметрів скоригованої схеми реакуючого органу дільничного апарату захисту від витоків струму на землю.

Список використаної літератури

1. Правила безпеки у вугільних шахтах. – К.: ДНАОП, 1996. – 150 с.
2. Аппараты защиты от токов утечки рудничные для сетей напряжением до 1200 В. Общие технические условия: ГОСТ 22929–78. С изменениями согласно ИУС 11–80, 7–81, 11–83. Соответствует СТ СЭВ 2309–80. – [Вступил в силу 01.01.1979]. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 13с. – (Межгосударственный стандарт).
3. Маренич К.Н. О влиянии параметров участковой электросети шахты на устойчивость работы аппарата АЗУР-4 при включении кабельного ответвления / К.Н. Маренич, С.А. Руссиян // Взрывозащищённое электрооборудование: Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. Под ред. В.С. Дзюбана. – Донецк: ООО “Юго-Восток, Лтд.”, 2005. - С. 84-88.

Надійшла до редакції:
13.02.2013

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Ковальов Є.Б.

К.Н. Маренич

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Экспериментальное определение свойств схемы устройства автоматической защиты от утечек тока на землю в отношении реакции на воздействие коммутационного переходного процесса. В результате экспериментальных исследований установлена особенность воздействия процесса коммутации силового присоединения в участковой электросети шахты на величину оперативного параметра устройства защиты от утечек тока на землю, включая отдельные структурные составляющие его схемы, параметры активно-ёмкостных составляющих сопротивления изоляции сети и быстрдействие коммутации силового присоединения.

Ключевые слова: электротехнический комплекс, шахта, электропоражение, цепь утечки на землю, аппарат защиты, ложное срабатывание, коммутация, переходный процесс, электрические параметры, эксперимент.

K.N. Marenych

Donetsk National Technical University

Experimental Definition of the Properties of the Ground Leakage Automatic Protection Device Scheme Concerning the Reaction to Switching Transient Impact. In this article the general research and practical problem of increasing the efficiency of electrotechnical complexes of mine technological sites through substantiation of the parameters and structure of the means of ground leakage protection devices misoperation prevention due to the influence of the transients of power connection switching is solved. The paper considers the problem of functioning stability of electroshock protection when transient processes (caused by switched-on induction motors) take place. It is known that cables insulation capacity influences the increase of the operational parameter in protection devices. This property was investigated on a special stand. Preconditions for protection misoperation were recorded when insulation capacity exceeded 0,16 mkF / phase. Experiment results are shown on oscillograms and presented in generalized form. We found out that in powerful electric networks the probability of protection misoperatons is high. It is possible to increase reliability of protection devices by means of updating their schemes or using controlled switching of induction motors.

Keywords: mine, electrical complex, electroshock, ground leakage circuit, protection device, misoperation, switching, transient process, electrical parameters, experiment.