

### ВПРОВАДЖЕННЯ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ В РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ 6-10 кВ

**І. М. Луценко, Є. В. Кошеленко, П. С. Цыган**

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»

просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49000, Україна. E-mail: Pavelamplifier@gmail.com

Проаналізовано проблему використання сучасних терміналів релейного захисту в мережах 6-10 кВ з реалізацією резервування та подальшою роботою електричної мережі в післяаварійному режимі, або у випадку перетікання потужності від децентралізованого джерела, зі збереження селективності. Обґрунтовано способи використання електромагнітних та індукційних реле в комбінації з сучасною мікроелектронною базою. Запропоновано алгоритми функціонування системи релейного захисту та автоматики, побудованої на взаємодії електромагнітних та індукційних реле з фотоелектричними індикаторами напруги з використанням ємнісних дільників напруги. Розроблено схемні рішення реалізації системи релейного захисту, які дозволять підвищити стійкість роботи мікроелектронних елементів у колах релейного захисту при несприятливій електромагнітній обстановці. Отримані результати можуть бути використані електропостачальними компаніями для забезпечення надійного захисту мережі, особливо при широкому впровадженні децентралізованих джерел генерації електричної енергії.

**Ключові слова:** релейний захист, схемні рішення, резервування, мікроелектронна база.

### ВНЕДРЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6-10 кВ

**И. Н. Луценко, Е. В. Кошеленко, П. С. Цыган**

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»

просп. Дмитрия Яворницкого, 19, г. Днепр, 49000, Украина. E-mail: Pavelamplifier@gmail.com

Проанализирована проблема использования современных терминалов релейной защиты в сетях 6-10 кВ с реализацией резервирования и последующей работой электрической сети в послеаварийном режиме, или в случае перетока мощности от децентрализованного источника, с сохранением селективности. Обосновано способы использования электромагнитных и индукционных реле в сочетании с современной микроэлектронной базой. Предложены алгоритмы функционирования системы релейной защиты и автоматики, построенной на взаимодействии электромагнитных и индукционных реле с фотоэлектрическими индикаторами напряжения с использованием емкостных делителей напряжения. Разработаны схемные решения реализации системы релейной защиты, которые позволят повысить устойчивость работы микроэлектронных элементов в цепях релейной защиты при неблагоприятной электромагнитной обстановке. Полученные результаты могут быть использованы электроснабжающими компаниями для обеспечения надежной защиты сети, особенно при широком внедрении децентрализованных источников генерации электрической энергии.

**Ключевые слова:** релейная защита, схемные решения, резервирование, микроэлектронная база.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Проблема сучасного релейного захисту (РЗ) полягає у використанні складних мультифункціональних пристроїв, які мають високу вартість та побудовані на основі вимог до вже існуючих типів захисту. Використання автоматики повторного вмикання або автоматичного включення резерву передбачає використання комутаційних апаратів з наявністю електромагнітів вмикання та вимикання. Сучасними комутаційними апаратами у мережах 10 кВ є вакуумні вимикачі з блоками керування, що дає можливість використовувати будь-який елемент у якості вихідного реле та спрощує адаптацію пристроїв релейного захисту. У мережах з двохстороннім живленням важливим є напрямок перетікання потужності, саме від цього залежить постановка задачі при побудові карти селективності дії захисту[1]. Використання направленої захисту вирішує питання автоматичного перенастроювання захисту, але ускладнює схеми релейного захисту.

Особливо актуальним є використання направленої захисту з децентралізованими джерелами генерації, які можуть створити зворотні перетікання потужності в електричних мережах за рахунок штучного підвищення напруги інверторами. Децентралізованими джерелами генерації можуть бути сонячні

електростанції, електромобілі які працюють через інвертори, ведені мережею, і віддають електричну енергію в мережу при виникненні піку електричних навантажень в енергосистемі [2]. При зміні напрямку перетікання потужності виникає необхідність у врахуванні даного фактору впливу на параметри релейного захисту з метою збереження селективності його роботи. Властивості направленої захисту можливо використовувати як індикатор перетікання потужності в розподільчих електричних мережах з децентралізованими джерелами генерації та перспективами подальшого використання електромобілів на зарядних електричних станціях в якості джерел електричної енергії за технологією V2G. Областю реалізації направленої захисту є мережі 6-10 кВ з ТП-6(10)/0,4 кВ.

У даному випадку кожна ТП ускладнюється з точки зору конструктивного виконання розподільчого пристрою високої напруги, оскільки передбачається використання трьох вимикачів на стороні високої напруги, трансформаторів струму та напруги для приєднання пристроїв РЗ і А, а також пристроїв обліку електричної енергії. У разі переходу електричної мережі в післяаварійний режим роботи виникає зміна конфігурації мережі, внаслідок чого змінюються її параметри та характер протікання

перехідних процесів. З точки зору релейного захисту параметри електричної мережі впливають на одні з основних показників роботи пристроїв релейного захисту, таких як селективність та чутливість. Наприклад, при зміні конфігурації мережі, може змінитися струм короткого замикання, наприклад (знижитися) внаслідок збільшення протяжності електричної мережі (збільшення опору лінії), що знижує коефіцієнт чутливості струмового релейного захисту, такого як (МСЗ) – максимальний струмовий та (СВ) – струмова відсічка [3]. В результаті змін конфігурації мережі також можлива зміна напрямку потужності [4] в магістральних схемах систем електропостачання, що призводить до неселективної дії максимального струмового захисту та струмової відсічки. Таким чином, енергопостачальник може отримати недовідпуск електричної енергії через неселективну дію захисту та безпідставне вимкнення навантаження на неушкодженій ділянці електричної мережі, яка працювала в післяаварійному режимі роботи.

Мета роботи – обґрунтування технічних рішень систем релейного захисту в розподільчих мережах 6-10 кВ для забезпечення селективності їх дії в післяаварійному режимі роботи.

#### МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

*Проблемні питання експлуатації пристроїв релейного захисту на основі мікропроцесорної бази.* Суттєвий недолік мікропроцесорних пристроїв РЗ – їх висока вартість. Крім того, значні витрати підприємства виділяються на обслуговування мікропроцесорних пристроїв: необхідна наявність дорогого устаткування, програмного забезпечення, а також фахівців з відповідною кваліфікацією. Ще один недолік мікропроцесорних пристроїв – вузький діапазон робочих температур. Традиційні захисні пристрої, виконані на електромеханічній базі, досить невибагливі та можуть працювати в широкому діапазоні робочих температур. Для забезпечення коректної роботи мікропроцесорних пристроїв необхідно встановлювати додаткове кліматичне обладнання. Слід додатково відзначити такий недолік мікропроцесорних пристроїв, як періодичні збої в програмному забезпеченні. Не дивлячись на заяви виробників мікропроцесорних захистів про їх стабільну роботу, дуже часто спостерігається збій в роботі програмного забезпечення (наприклад, періодичне перезавантаження терміналу). Якщо в момент збою програмного забезпечення відбудеться коротке замикання, то це може привести до пошкодження обладнання, так як в цей момент приєднання знаходиться без захисту.

Для об'єктів електричних мереж, напругою 6-10 кВ використовуються прості види релейного захисту, такі як максимальний струмовий захист та струмова відсічка. Встановлюються пристрої РЗ і А безпосередньо у релейних відсіках закритих розподільчих пристроїв разом з пристроями обліку електричної енергії. В реальних умовах експлуатації кільцевих електричних схем процес переведення мережі з нормального в післяаварійний режим є довготривалим, внаслідок необхідності «ручного, особистого» пошуку причини виникнення аварії та пере-

ведення схеми в післяаварійний режим роботи електричної мережі та споживачів. На рисунку 1 представлено план пошуку ушкодження та переведення системи електропостачання в післяаварійний режим роботи електричної мережі з використанням вимикачів навантаження 6-10 кВ у міських електричних мережах.

Припустимо, що відмова відбулась на ділянці кабельної лінії між ТП2 та ТП3 (рис. 1). При цьому вимикається лінійний вимикач на стороні джерела живлення та опиняються без живлення ТП 1,2,3,4. Через деякий час по каналах телесигналізації або телефону диспетчера надходить інформація про зникнення напруги.

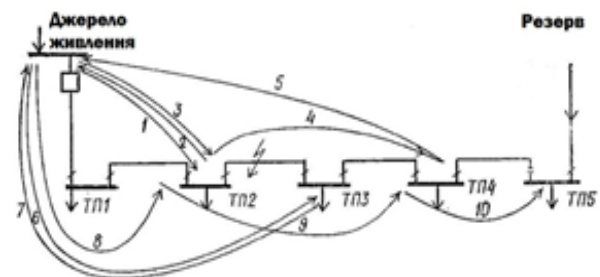


Рисунок 1 – Послідовність виявлення пошкодження та переведення системи електропостачання з нормального у післяаварійний режим роботи мережі

Диспетчер визначає послідовність виконання операцій з пошуку ушкодженої ділянки для подальшого забезпечення електропостачання споживачів електричної енергії у післяаварійному режимі роботи. Оперативно-виїзна бригада (ОВБ), отримавши завдання від диспетчера, виїжджає до джерела живлення (фідеру підстанції), де оглядають лінійні вимикачі та визначають вимкнену лінію. Після цього ОВБ починає пошук пошкодженої ділянки електричної мережі. Послідовність виконання операцій може бути наступною: ОВБ бригада виїжджає до ТП2 та вмикає вимикач навантаження в сторону ТП1, повертається до джерела живлення та вмикає лінійний вимикач (відмова на лінії КЛ2-3). Вимикач вмикається вручну і ОВБ бригада переміщується в сторону ТП2, вмикає вимикач навантаження до ТП1 та прямує до ТП4, вмикає вимикач навантаження до ТП3, прямує на підстанцію та вмикає лінійний вимикач. Вимикач вмикається від дії релейного захисту. Таким чином виявляють, що пошкоджена ділянка КЛ2-3. Бригада прибуває в ТП2, вмикає вимикач навантаження до ТП3, після чого в ТП4, вмикаючи вимикач навантаження до ТП3 і остаточно в ТП5, вмикаючи вимикач навантаження до ТП4, в якому у нормальному режимі тримається точка розмикання. Таким чином, ТП1 і 2 отримують живлення від основного джерела живлення, а ТП3,4,5 – від резервного. У випадку спрацювання основного захисту на вимкнення вимикача на фідері живлячої ГЗП або РП невідомо, де саме відбувся аварійний режим, оскільки магістральні живлячі лінії мають велику протяжність та значну кількість приєднань. Щодо фіксації параметрів спрацювання захисту,

можливо дізнатися лише тип захисту, який спрацював, величину струму та напруги аварійного режиму, а також лінійні провідники через які протікав струм аварійного режиму. Даний приклад показує, що пошук пошкоджень та переведення мережі в післяаварійний режим вимагає значної кількості часу, робочого ресурсу ОВБ, забезпечення їх транспортними засобами, особливо у випадку масових пошкоджень. Зважаючи на те, що у прикладі розглянуті міські електричні мережі, треба врахувати категорію надійності даних споживачів (наявність 1,2-ї категорій надійності), для яких перерва у електропостачанні має складати час автоматичного вводу резерву або оперативним персоналом. У даному прикладі споживачі електричної енергії, а це ТП1,2,3,4,5 знаходилися практично знеструмленими на час пошуку пошкодженої ділянки кабельної лінії і лише шляхом почергового вмикання вимикачів навантажень на ТП буде знайдена пошкоджена ділянка мережі.

Електрична мережа напругою 6-10 кВ від якої живляться ТП1,2,3,4,5, обладнані вимикачами навантажень з ручним приводом, що не мають релейного захисту, при виникненні аварійних режимів роботи повністю втрачають живлення. Це призводить до знеструмлення всієї ділянки та значного недовідпуску електричної енергії.

Для побудови функціональних систем електропостачання з можливістю дистанційного керування необхідною умовою є заміна вимикачів навантажень на вакуумні вимикачі з РЗ. Зважаючи на те, що сучасні термінали релейного захисту (цифрові реле) потребують джерел оперативного струму, як і електромеханічна база релейного захисту (електромагнітні реле) та мають високу ціну, особливо сучасні зразки, то пошук альтернативних видів релейного захисту набуває великого значення. Особливістю міських трансформаторних підстанцій є відсутність джерел оперативного струму. Утримання джерел постійного оперативного струму носить характер високих матеріальних витрат, змінний оперативний струм у трансформаторних підстанціях міських електричних мереж не використовується.

*Обґрунтування комбінованого використання електромагнітних та індукційних реле з сучасною мікроелектронною базою.* Альтернативою традиційному та сучасному мікропроцесорному релейному захисту є використання індукційних та електромагнітних реле струму, напруги та напрямку потужності у комбінації з мікроелектронною базою. У якості пускових органів захисту використовуються електромагнітні та індукційні реле, а в якості логічних елементів – сучасні малогабаритні логічні елементи у вигляді мікросхем з електронною обв'язкою для їх адаптації до роботи з контактами електромагнітних та індукційних реле. Перевагою даних схемних рішень є:

- можливість простого обслуговування електромагнітних та індукційних реле;
- використання кіл постійного оперативного струму низької напруги та малої потужності, таких як літєві акумулятори.

Перевагами такого роду систем є:

а) зменшення комутаційних навантажень на контакти реле, що сприятиме збільшенню термін їх експлуатації;

б) зменшення потужності джерел оперативного струму (використання літєвих акумуляторів) та зменшення вартості в утриманні релейного захисту;

в) зменшення масо-габаритних розмірів логічного блоку релейного захисту;

г) забезпечення протиаварійної автоматики, такої як АВР та АПВ.

*Алгоритми роботи релейного захисту та автоматики з використанням електромагнітних, індукційних реле та фотоелектричними індикаторами напруги з використанням ємнісних дільників напруги.* При побудові алгоритмів роботи РЗА необхідно врахувати властивості ділянки електричної мережі та особливості можливих режимів роботи (нормального та післяаварійного режиму) [5]. В залежності від конструктивного виконання розподільчих пристроїв, характеру споживачів електричної енергії окрім основного захисту такого, як МСЗ (максимальний струмовий захист) та СВ (струмова відсічка), необхідно враховувати використання додаткового захисту, такого як ЛЗШ (логічний захист шин) або ДЗШ (дуговий захист шин) при наявності системи або секції шин., які в свою чергу можуть мати направлений характер дії.

Не менш важливим є використання автоматики в електричних мережах для скорочення часу резервування споживачів та зменшення недовідпуску електричної енергії. Розглянувши приклад, приведений вище, робимо висновок про необхідність використання основного струмового направленного захисту з використанням реле струму з незалежною характеристикою спрацьовування [6].

Для реалізації запропонованого варіанту схеми АВР (рис. 2) необхідно використовувати в якості вимірювального органу реле напруги, уставка спрацьовування якого складає  $0,6U_{ном}$ . У разі зниження напруги живлення до рівня, меншого від заданої уставки, контакти реле напруги замикаються, подаючи сигнал на ряд логічних елементів, які в свою чергу реалізують алгоритм вимкнення від знеструмленої ділянки кола.

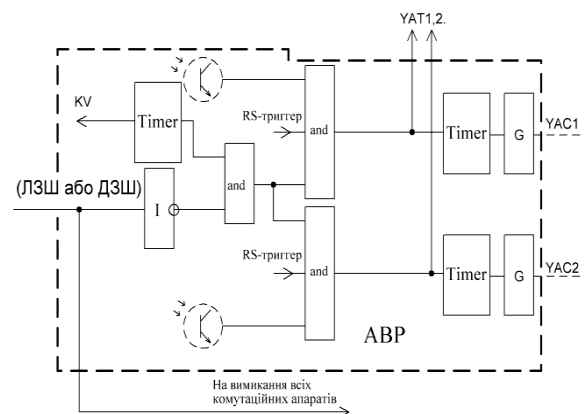


Рисунок 2 – Логічна схема АВР

Далі, за рахунок фотоелектричних індикаторів напруги, які побудовані на основі ємнісного дільника напруги та світлодіода (рис. 3), сигнал передається на логічні елементи за допомогою оптичного каналу (оптоволокна), які в свою чергу дозволяють або забороняють вмикання другого вводу в залежності від наявності напруги.

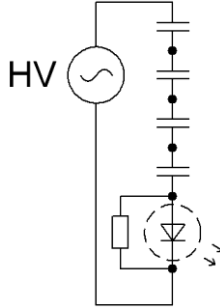


Рисунок 3 – Ємнісний дільник напруги

Якщо при резервуванні зміниться напрямок перетікання потужності, реле напрямку потужності реверсується й замикає інший контакт, що змінить положення бістабільного асинхронного RS-тригера (рис. 4), тим самим змінивши уставку релейного захисту за струмом та часом спрацьовування (забезпечення селективності захисту).

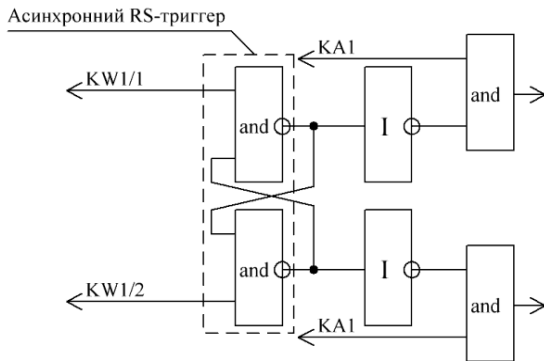


Рисунок 4 – Використання логічних елементів в якості реле фіксації команди на зміну уставок

Попередня фіксація уставки спрацьовування захисту є необхідним заходом для забезпечення надійності роботи та селективності релейного захисту [7]. Це пов'язано з виникненням сліпих зон направленного захисту, оскільки для забезпечення нормальної роботи реле потужності необхідним є створення двох магнітних потоків за рахунок струмової обмотки та обмотки напруги. При включенні реле потужності за «90-градусною» схемою вмикання, при близьких коротких замиканнях напруга в точці мережі наближається до нуля, а струм короткого замикання обмежується лише значенням опорів елементів схеми. В результаті, реле потужності втрачає обертовий момент, що призводить до розмикання його контактів (сліпа зона реле потужності) [8]. Для пояснення принципу функціонування логічних елементів приведемо таблицю істинності їх роботи у різних можливих конфігураціях (табл. 1).

Таблиця 1– Таблиця істинності положення фіксованих уставок в нормальному режимі роботи

Вхідні елементи	Стан вхідних елементів	Стан вихідних елементів	
		In 1	In 2
KA1	0	0	0
KW1/1	0 або 1		
KW1/2	0 або 1		
KA2	0		

У табл. 2 описаний аварійний режим спрацьовування логічних елементів захисту.

Таблиця 2 – Таблиця істинності положення фіксованих уставок в аварійному режимі роботи

Вхідні елементи	Стан вхідних елементів	Стан вихідних елементів	
		In 1	In 2
KA1	1	1	0
KW1/1	1		
KW1/2	0		
KA2	0 або 1		

Комбінація логічних елементів забезпечує надійність роботи захисту при виникненні сліпих зон індукційного реле при зниженні напруги на шині та близьких коротких замиканнях.

З метою забезпечення додаткового захисту такою як ЛЗШ (логічний захист шин), до контактів електромагнітних реле струму треба додати додаткову логічну схему (рис. 5).

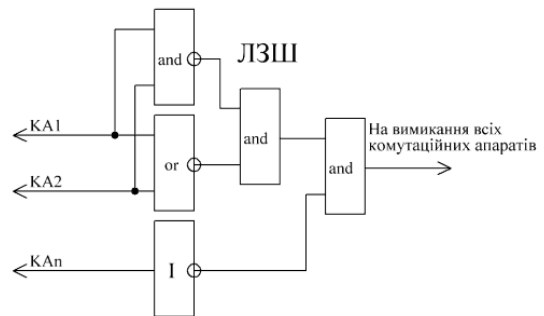


Рисунок 5 – Реалізація ЛЗШ на логічних елементах

Для пояснення принципу дії ЛЗШ приведена відповідна таблиця істинності (табл. 3).

Таблиця 3 – Таблиця істинності принципу дії ЛЗШ

KA1	KA2	KAn	In (ЛЗШ)
1	1	0	0
1	0	0	1
0	1	0	1
0	0	0	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	1	0

Підвищення стійкості роботи мікроелектронних елементів у колах релейного захисту при несприятливій електромагнітній обстановці. Розглядаючи системи електропостачання з можливим автоматизованим резервуванням зі зміною напрямку перетікання потужності, треба врахувати, що тип захисту є направленим з метою забезпечення селективної ро-

боти пристроїв РЗ виникає необхідність у використанні реле напрямку потужності. Це в свою чергу вимагає встановлення одного вимірювального трансформатора напруги для живлення обмотки напруги реле потужності та реле напруги.

Також необхідним є встановлення трансформаторів струму на основний та резервний вводи фаз А і С, вторинні обмотки яких з'єднуються прямо, послідовно. До них вмикаються послідовно струмові обмотки реле струму та реле напрямку потужності. У якості реле напрямку потужності, обираються індукційні реле типу РБМ-271 з двома контактами (косинусні, активної потужності), електромагнітні реле струму типу РТ-40 або ЭТ-520, електромагнітні реле напруги РН-160 або ЭН-160. При приєднанні логічних елементів до контактів реле треба врахувати вплив електромагнітних завад (імпульсів напруги, струму), що може викликати помилкове спрацювання логічних елементів. Для забезпечення стійкої роботи логічних елементів на електронній базі треба забезпечити жорсткі межі спрацювання логічних елементів та додаткові логічні умови для розгортання роботи алгоритмів [9]. Тобто, для появи чіткої логічної одиниці слід виставити високий поріг спрацювання для запобігання помилкового запуску алгоритму, що в подальшому призведе до вимкання або вмикання того чи іншого комутаційного апарату. Технічною реалізацією даного заходу можливо запропонувати використання оптронів між контактами реле та логічними елементами мікросхем (рис. 6). Зазвичай використання оптронів зумовлене метою створення гальванічної розв'язки між схемами керування та керованим елементом [10]. Але у випадку з використанням логічних елементів остаточною метою є саме підняття порогу спрацювання логічного елемента, оскільки для того, щоб отримати остаточний стійкий логічний сигнал, через вхід оптрону треба пропустити певну величину струму спрацювання.

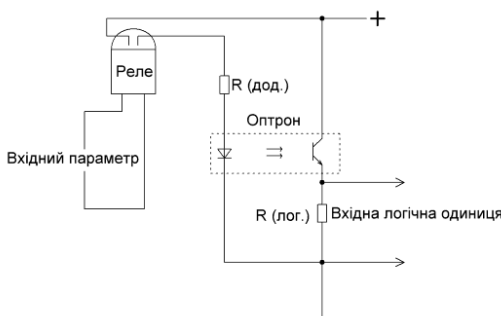


Рисунок 6 – Схема збільшення порогу спрацювання логічних елементів

На рис. 6 зображена схема, яка дозволяє за допомогою оптрону збільшити поріг спрацювання логічних елементів. В ній:  $R_{\text{дод}}$  – додатковий опір до вхідного кола оптрона, який обмежує струм, що протікає через світлодіод;  $R_{\text{лог}}$  – опір, на якому падає значення напруги, що є стійкою «одиницею» для спрацювання логічного елемента.

Враховуючи специфіку блоків керування вакуумними вимикачами, у якості вихідних елементів доцільно використовувати транзисторні каскади з

електромагнітними реле (рис. 7), увімкненими в навантаження, а паралельно до них вмикати електролітичний конденсатор. Каскад слід живити через послідовно увімкнений резистор, який дозволяє протягом певного інтервалу часу (не більше однієї секунди) зарядити конденсатор, що забезпечить спрацювання транзисторного каскаду за інтервал часу (не більше 100-500 мс). Це робиться з метою створення короткочасного замикання вихідних клем блоку керування вакуумного вимикача на вмикання або вимкання (забезпечення імпульсного режиму роботи релейного захисту).

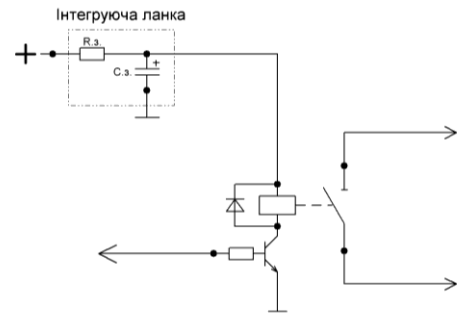


Рисунок 7 – Транзисторний каскад з інтегруючою ланкою

Резистор та конденсатор необхідно обирати як інтегруючу ланку за умови, що опір резистора після розряду конденсатора не забезпечить протікання струму, достатнього до створення магнітурушійної сили подолання опору пружини електромагнітного реле, увімкненого до транзисторного каскаду. На рис. 8 зображено осцилограми, які пояснюють принцип роботи каскаду релейного виходу у імпульсному режимі при наявності сигналу на вході транзисторного каскаду.

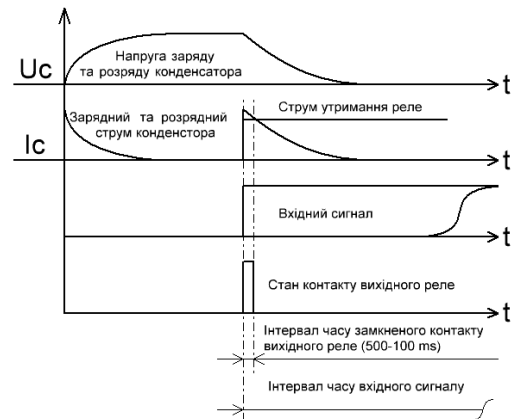


Рисунок 8 – Осцилограми принципу роботи релейного виходу в імпульсному режимі

При об'єднанні всіх елементів у єдину схему отримуємо принципово простий пристрій релейного захисту. Він придатний до автономної роботи з функцією автоматичної зміни уставок релейного захисту, має низьке енергоспоживання за рахунок використання сучасних мікросхем [11], простий у ремонті та експлуатації. На рис. 9 представлена спрощена структурна схема відповідного пристрою з елементами принципів електронних схем окремих блоків.

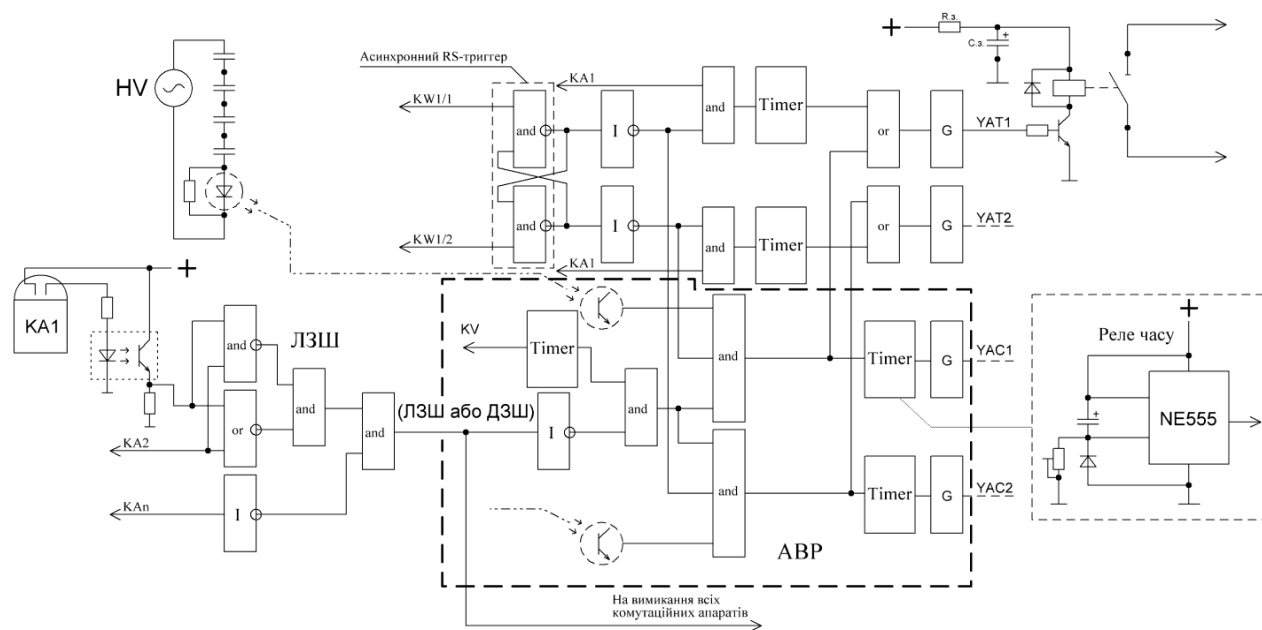


Рисунок 9 – Спрощена структурна схема пристрою релейного захисту на основі електромеханічної та мікроелектронної бази

**ВИСНОВКИ.** Використання спрощених схемних рішень комбінованих систем захисту дозволить збільшити ремонтпридатність, спростити обслуговування пристроїв РЗ і автоматики за рахунок їх відкритості на відмінну від сучасних мікропроцесорних терміналів.

При комбінації малопотужних мікроелектронних компонентів та електромеханічних реле можливо збільшити строк експлуатації пристроїв релейного захисту. Мікроелектронна база дозволяє використовувати малопотужні джерела оперативного струму, що робить дешевшим утримання пристроїв РЗ і А, а за рахунок зменшення масо-габаритних розмірів дозволяє розмістити пристрої захисту та джерела оперативного струму у міських ТП.

Запропоновані схемотехнічні рішення можуть бути використані енергопостачальними організаціями для підвищення надійності і безаварійності розподільчих мереж 6-10 кВ з мінімальними капіталовкладеннями в систему релейного захисту.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Duong V. Новый способ надежной защиты шин среднего напряжения. *Релейная защита и автоматика энергосистем 2017*: материалы междунар. конф. Санкт-Петербург, 2017. С. 142–152.
2. Луценко І. М., Циган П. С. Технічні та економічні аспекти використання електромобілів в електричних мережах України. *Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського*. 2017. № 6 (107). С. 21–30.
3. Нагай В. И., Сарры С. В., Нагай И. В., Кирев П. С., Украинцев А. В. Учет нелинейности переходного сопротивления при построении релейных защит с абсолютной и относительной селективностью. *Релейная защита и автоматика энергосистем 2017*: материалы междунар. конф. Санкт-Петербург, 2017. С. 250–256.

4. Удрис А. П. Векторные диаграммы и их использование при наладке и эксплуатации устройств релейной защиты. *Энергетик*. 2006. Вып. №1. С. 33–41.

5. Илюшин П. В. Особенности реализации делительной автоматики на генерирующих установках объектов распределенной генерации. *Релейная защита и автоматика энергосистем 2017*: материалы междунар. конф. Санкт-Петербург, 2017. С. 18–25.

6. Илюшин П. В. Комплексный подход к моделированию устройств РЗ и ПА, расчету уставок и анализу правильности их работы. *Журнал «Релейная защита и автоматизация»*. Вып. № 3(28)2017. С. 13–19.

7. Волошин А. А., Жуков А. В. Технология создания комплекса РЗА с гибкой функциональной структурой. *Релейная защита и автоматика энергосистем 2017*: материалы междунар. конф. Санкт-Петербург, 2017. С. 228–233.

8. Варганов П. Г., Паршиков Н. В., Иванов Н. А., Юрнова О. К. Система непрерывной диагностики электромеханических панелей РЗ и А для обеспечения наблюдаемости и повышения надежности их работы. *Релейная защита и автоматика энергосистем 2017*: материалы междунар. конф. Санкт-Петербург, 2017. С. 850–853.

9. Hewitson L., Brown M., Ramesh B. Practical Power Systems Protection. *Elsevier*. 2004. P. 96–133, URL: <https://www.elsevier.com/books/practical-power-system-protection/hewitson/978-0-7506-6397-7> (last assessed: 06.09.2018).

10. Gurevich V. Power Supply Devices and Systems of Relay Protection. *International Standard Book*. 2014. № 13. P. 26 – 40.

11. J. Lewis Blackburn, Thomas J. Domin. Protective Relaying: Principles and Applications. *CRC Press, Taylor & Francis Group LLC*. 2006. P. 31–48.

## INTRODUCTION OF COMBINED RELAY PROTECTION SYSTEMS IN DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS 6-10 kV

**I. Lutsenko, E. Koshelenko, P. Tsyhan**

State Higher Educational Institution “National Mining University”

prosp. Dmytra Yavornytskoho, 19, Dnipro, 49000, Ukraine. E-mail: Pavelamplifier@gmail.com

**Purpose.** Development of circuit solutions for relay protection and automation devices that have low cost and low power consumption in comparison with microprocessor and traditional systems. Ensuring reliable relay protection through simple work algorithms. Solutions for increasing the reliability, flexibility and sensitivity of relay protection systems in power networks with decentralized sources of energy. Development of technical measures for improvement of the system average interruption frequency and duration indexes in conditions of power networks. **Methodology.** Achievement of the relay protection device simplicity and reliability, by the use of the microelectronic database specific properties. Adaptation of input parts of logic elements with contacts of induction and electromagnetic relays. **Findings.** The basic electric circuit of the protective relay device was developed, which allowed changing the relay protection settings in the autonomous mode, without losing the sensitivity of the mechanism for selecting the direction of power supply. The system of stations in the ring will allow maintaining the selectivity in the after-failure mode or during the generation of decentralized energy sources, being guided by the power flow. **Originality.** Application of the microelectronic base in combination with traditional electromagnetic and inductive relays. Previously, protection relay devices were divided separately into electromechanical, electrostatic, microprocessor types without smart combinations of each types. **Practical value.** The use of simple circuit solutions makes it possible to reduce the cost of relay protection devices, facilitate servicing and repair, and extend the life of equipment. The obtained results can be used by electric grid companies to ensure reliable protection of the network, especially with the wide introduction of decentralized energy sources. The offered technical solutions are very important for the modernization of power supply system 6-10 kV in conditions of Ukrainian cities.

**Key words:** combined relay protection system, schemes decisions, redundancy, microelectronic base, decentralized energy sources.

### REFERENCES

1. Duong, V. (2017), *Novyyi sposob nadezhnoy zashchity shin srednego napryazheniya* [A new way of reliable protection of medium voltage bus] *Materialyi mezhdunarodnoy konferentsii «Releynaya zashchita i avtomatika energosistem 2017»* [Proc. Int. Conf. “Relay protection and automation for electric power systems 2017”], Saint-Petersburg, April 25-28, 2017, pp. 142–152.
2. Lutsenko, I. M., Tsyhan, P. S. (2017), “Technical and economic aspects of the electric vehicles use in power networks of Ukraine”, *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University*, vol. 6, no. 107.
3. Nagay, V. I., Sarryi, S. V., Nagay, I. V., Kireev, P. S., Ukraintsev A. V. (2017), *Uchet nelineynosti perehodnogo soprotivleniya pri postroenii releynykh zashchit s absolyutnoy i otnositelnoy selektivnostyu* [Allowance for the nonlinearity of the transient resistance in the construction of relay protections with absolute and relative selectivity] *Materialyi mezhdunarodnoy konferentsii «Releynaya zashchita i avtomatika energosistem 2017»* [Proc. Int. Conf. “Relay protection and automation for electric power systems 2017”], Saint-Petersburg, April 25-28, 2017, pp. 250–256.
4. Udris, A. P. (2006), *Vektornyye diagrammy i ih ispolzovanie pri naladke i ekspluatatsii ustroystv releynoy zashchity* [Vector diagrams and their use in the setup and operation of relay protection devices], *Energetik*, Iss. 1, no1, pp. 33–41.
5. Ilyushin, P. V. (2017), *Osobennosti realizatsii delitelnoy avtomatiki na generiruyuschih ustanovkakh ob'ektov raspredelennoy generatsii* [Features of the implementation of the division automatics on generating installations of distributed generation objects] *Materialyi mezhdunarodnoy konferentsii «Releynaya zashchita i avtomatika energosistem 2017»* [Proc. Int. Conf. “Relay protection and automation for electric power systems 2017”], Saint-Petersburg, April 25-28, 2017, pp. 18–25.
6. Ilyushin, P. V. (2017), *Kompleksnyj podhod k modelirovaniyu ustrojstv RZ i PA, raschetu ustavok i analizu pravil'nosti ih raboty* [Comprehensive approach of simultaneous analysis of relay protection and emergency automatics: threshold calculation and performance assessment], *Relay Protection and Automation*, no.3 (28), available at: <http://www.srzau-ric.ru>.
7. Voloshin, A. A., Zhukov, A. V. (2017), *Tehnologiya sozdaniya kompleksa RZA s gibkoy funktsionalnoy strukturoy* [The technology of creating a complex with a flexible functional structure], *Materialyi mezhdunarodnoy konferentsii «Releynaya zashchita i avtomatika energosistem 2017»* [Proc. Int. Conf. “Relay protection and automation for electric power systems 2017”], Saint-Petersburg, April 25-28, 2017, pp. 228–233.
8. Varganov, P. G., Parshikov, N. V., Ivanov, N. A., Yurnova, O. K. (2017), “System of continuous diagnostics of electromechanical panels protection relays and automation to provide observability and increase reliability of their operation”, *Materialyi mezhdunarodnoy konferentsii «Releynaya zashchita i avtomatika energosistem 2017»* [Proc. Int. Conf. “Relay protection and automation for electric power systems 2017”], Saint-Petersburg, April 25-28, 2017, pp. 850–853.
9. Hewitson, L., Brown, M. and Ramesh, B. (2004), “Practical Power Systems Protection”, *Elsevier*, pp. 96–133, available at: <http://www.newnespress.com/pdf/>.
10. Gurevich, V. (2014), “Power Supply Devices and Systems of Relay Protection”, *International Standard Book*, no. 13, pp. 26 – 40.
11. Blackburn, J., Domin, T. (2006) “Protective Relaying: Principles and Applications”, *CRC Press, Taylor & Francis Group LLC*, pp. 31–48.

Стаття надійшла 03.09.2018.