

Рис. 8 – Пример опознания срабатывания УРОВ

**Выводы.** Предложены алгоритмы опознания параметров сети и режимов работы для автоматизации управления системой электроснабжения в процессе и после аварийного режима: опознания отключенных и поврежденных электроустановок, отказах основных защит, отказах в отключении выключателей, ложной работы защит, неправильного отключения выключателей, неправильного срабатывания защит, успешного автоматического повторного включения, срабатывания устройства резервирования отказа выключателя.

**Список литературы:** 1. *Фигурнов Е.П.* Релейная защита. Учебник для студентов электротехнических и электромеханических специальностей транспортных и других вузов / *Е.П.Фигурнов* – К.: Транспорт Украины, 2004.-565 с. 2. *Федосеев А.М.* Релейная защита электроэнергетических систем: учебник для вузов / *А.М.Федосеев, М.А. Федосеев* – М.: Энергоатомиздат, 1992.-528 с. 3. *Андреев В.А.* Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов по спец. «Электроснабжение» / *Андреев В.А.* - М.: Высш.шк., 1991.-496 с.

Поступила в редколлегию 05.01.2013

УДК 658.012

**Анализ работы релейной защиты и автоматики для послеаварийного восстановления системы электроснабжения / Баженов В.Н** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика, надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. - №.17 (990). – С.18-25. Бібліогр.: 9 назв. Іл.: 8.

Розглянуті питання формування осмислених повідомлень про стан електроустановок, пристроїв релейного захисту та автоматики в процесі аварійного режиму системи електропостачання.

**Ключові слова:** електропостачання, оперативне керування, конфігурація мережі, релейний захист та автоматика, упізнання параметрів мережі та режимів роботи.

The problems of the formation and comprehension of status messages of electric, relay protection and automation in emergency mode power supply system. II. 8

**Keywords:** power supply, operational management, network configuration, relay protection and automation, identify the network and work

УДК 621.316

**М. Й. БУРБЕЛО**, д-р. техн. наук, проф., Вінницький нац. техн. ун-т;  
**С. М. МЕЛЬНИЧУК**, інж., Півд. – західна ЕС ДП «НЕК  
«Укренерго», Вінниця

## УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХИСТІВ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ З ОБ'ЄКТАМИ МАЛОЇ ЕНЕРГЕТИКИ (СОЛЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ)

В статті обґрунтовано інформативні параметри для виявлення несиметричних пошкоджень ліній електропередачі, прилеглих до об'єктів малої енергетики. Пропонується в якості інформативних параметрів використовувати відношення струмів зворотної та прямої послідовностей або умовної потужності зворотної послідовності та повної потужності навантаження, а також рівності модулів пристроїв цих струмів або потужностей.

**Ключові слова:** короткі замикання, неповнофазні режими, відношення струмів, прирости струмів.

**Вихідні передумови та постановка задачі дослідження.** За останнє десятиріччя при активній державній підтримці бурхливо розвивається відновлювана енергетика. Так, наприклад, в ФРН на початок 2011 р. 17 % електроенергії генеруються на основі відновлюваних джерел енергії. Не відстає від світових тенденцій і наша держава – введення «зеленого» тарифу стало потужним стимулом розвитку сонячної генерації в Україні.

Приєднання об'єктів малої енергетики на паралельну роботу з мережами енергопостачальних компаній ставить ряд нових задач в напрямку забезпечення стійкості та організації принципів побудови пристроїв релейного захисту і автоматики. Фотоелектричні батареї є джерелом струму з нелінійною вольт-амперною характеристикою, струм КЗ яких складає приблизно 110 % від номінального струму [1]. Зв'язок з електричною мережею і видача потужності фотоелектричної станції (ФЕС) здійснюється за допомогою введеного мережею інвертора. Для захисту лінії зв'язку між енергосистемою і ФЕС рекомендується використовувати два комплекти захисту, що встановлені з обох сторін лінії та які містять три види захисту [2]:

1. Захист від симетричного зниження напруги в усіх фазах;
2. Захист від підвищення напруги зворотної послідовності;
3. Подільний захист від зниження частоти (та підвищення частоти).

Причому на лінії з боку енергосистеми вибираються уставки по часу спрацювання більші на ступінь селективності. Захисти мережі 6-10 кВ, як правило, виконані ненаправленими і розраховані на роботу в розімкнутому радіальному режимі.

©М. Й. Бурбело, С.М. Мельничук, 2013

У випадку приєднання ФЕС до шин підстанції (ПС) енергопостачальної компанії двома паралельними лініями при виникненні КЗ на одній з цих ліній виникає проблема селективності захистів, оскільки струм КЗ, як було вказано вище, досить мало відрізняється від номінального струму, а існуючі захисти мінімальної напруги не дають змоги визначити на якому саме з приєднань сталося замикання.

Якщо на одній з відхідних від ПС ЛЕП відбудеться КЗ, то при цьому струм ФЕС зростає незначно в порівнянні з номінальним, а за низького світлового потоку буде нижчим за максимально можливий номінальний. Водночас на шинах ФЕС відбувається зниження напруги і захисти ліній приєднання ФЕС до шин ПС можуть зайво відключити ФЕС [2]. Щоб запобігти цьому, слід розробити і встановити чутливий та селективний тип захисту.

Перспективним напрямком для розробки пристроїв захисту від неповнофазних режимів та для захистів дальнього резервування є застосування пристроїв струмів зворотної  $\Delta I_2$  та прямої  $\Delta I_1$  послідовностей [3, 4].

Задача дослідження полягає у вдосконаленні захистів в мережах за наявності ФЕС.

**Аналіз перспективних підходів виконання захистів приєднань, що живляться від шин ФЕС, в режимах поперечної та поздовжньої несиметрії.** На рис. 1 представлено варіант підключення ФЕС до шин 10 кВ ПС 110/35/10 кВ (в якості розрахункового прикладу було розглянуто підключення ФЕС потужністю 10 МВт до ПС 110/35/10 кВ «Пороги» Ямпільського району Вінницької області).

Для захисту приєднань в режимі поздовжньої несиметрії пропонується в якості інформативного параметра використовувати відношення струмів зворотної  $I_2$  та прямої  $I_1$  послідовностей навантаження [5, 6]. І хоча значення струмів  $I_2$  та  $I_1$  при неповнофазному режимі залежать від навантаження, що передається по лінії, їх співвідношення  $I_2/I_1$  є сталим. Наприклад, у разі радіальної мережі за будь-якого значення симетричного навантаження  $I_2/I_1=0,5$ . В магістральній розподільній мережі у разі приєднання чотирьох споживачів однакової потужності при обриві проводу на початковій ділянці відношення  $I_2/I_1=0,5$ , при обриві на другій ділянці –  $I_2/I_1=0,33$ , на третій –  $I_2/I_1=0,20$ , на четвертій –  $I_2/I_1=0,09$ .

Згідно проекту ФЕС «Пороги» приєднується до шин 10 кВ ПС 110/35/10 кВ «Пороги» двоковолю кабельною лінією. У разі обриву фази одного з кабелів відношення  $I_2/I_1=0,5$ , а для непошкодженого кабелю –  $I_2/I_1=0,25$ . Отже, використання відношення  $I_2/I_1$  дозволяє забезпечити достатню чутливість та селективність для виявлення пошкодженого кабелю.

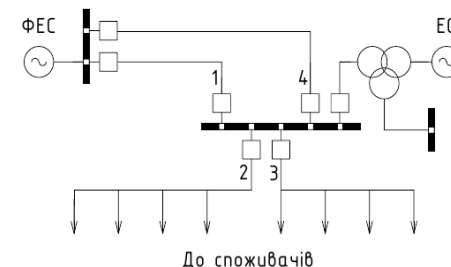


Рис. 1 – Приєднання ФЕС до шин 10 кВ ПС 110/35/10 кВ

Наявність несиметрії навантаження в розподільній мережі дещо погіршує чутливість захисту, в основу якого покладено відношення  $I_2/I_1$ . Несиметрія навантаження характеризується коефіцієнтом зворотної послідовності струму  $K_{2f}=(I_2/I_1) \cdot 100\%$ , значення якого може досягати та перевищувати 4 %. На рис. 2 показана векторна діаграма струмів зворотної послідовності на початку магістральної лінії з трьома несиметричними навантаженнями ( $K_{2f}=3,5\%$ ) при обриві проводу різних фаз на третій ділянці. Значення відношення  $I_2/I_1$  при обриві проводу фази  $A$ ,  $B$  або  $C$  відповідно будуть: 15 %, 8,8 %; 15,4 %. І хоча чутливість захисту є достатньою, однак при обриві фази  $B$  спостерігається істотне зменшення відношення  $I_2/I_1$ , що зумовлено початковим значенням і напрямком вектора  $I_2$ , викликаним несиметрією навантаження.

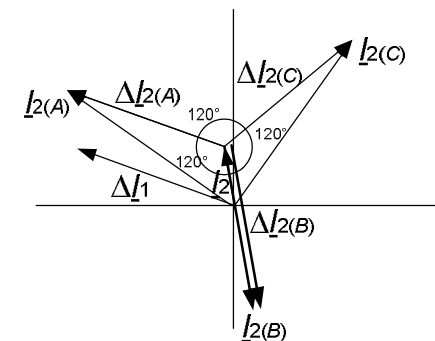


Рис. 2 – Векторна діаграма струму зворотної послідовності при обриві проводу різних фаз

З метою підвищення чутливості, швидкодії та завадостійкості виявлення будь-яких видів несиметричних пошкоджень замість струму  $I_2$  пропонується використання модуля комплексної умовної потужності

Таблиця – Результати розрахунків аварійних режимів

Вид пошкодження	$P_2$ , квар	$Q_2$ , квар	$S_2/S$
КЗ фаз $AB$	16910	-7738	0,979
КЗ фаз $BC$	-4959	-8244	0,506
КЗ фаз $CA$	-11900	15760	1,037
обрив фази $A$	-585	-351	0,141
обрив фази $B$	82	415	0,087
обрив фази $C$	452	-643	0,163
нормальний режим	-15	-190	0,035

зворотної послідовності  $\underline{S}_2 = \underline{S}_{21} + \underline{S}_{12} = 3\dot{U}_2^* I_1 + 3\dot{U}_1^* I_2$  де  $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_1, \dot{I}_2$  – комплексні напруги та струми відповідно прямої та зворотної послідовностей;  $\dot{I}_1, \dot{I}_2$  – комплексні спряжені струми відповідних послідовностей. Замість струму  $I_1$  можна використати повну потужність  $S$ .

Дійсну та уявну складові умовної потужності зворотної послідовності визначають з використанням інтегрування на ковзному інтервалі часу тривалістю пів періода відповідно за формулами [7]:

$$P_2(t) = \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_\alpha i_\alpha - u_\beta i_\beta) dt, \quad (1)$$

$$Q_2(t) = \frac{1,5}{T/2} \int_{t-T/2}^t (u_\alpha i_\alpha + u_\beta i_\beta) dt,$$

де  $u_\alpha, u_\beta; i_\alpha, i_\beta$  – миттєві напруги мережі і струми навантаження в ортогональній системі координат ( $\alpha, \beta$ ); штрихом позначені тіж величини після попереднього інтегровального перетворення;  $T$  – період напруги живлення.

З метою підвищення швидкодії і зменшення динамічної похибки дійсну та уявну складові умовної потужності зворотної послідовності можна визначати відповідно за формулами:

$$P_2(t) = 0,75(u_\alpha i_\alpha - u_\beta i_\beta + u_\alpha i_\alpha' - u_\beta i_\beta'), \quad (2)$$

$$Q_2(t) = 0,75(u_\alpha i_\alpha + u_\beta i_\beta - u_\alpha i_\alpha' - u_\beta i_\beta').$$

У цьому випадку можливість виключення інтегрування на ковзному інтервалі часу забезпечується використання додаткових складових миттєвих потужностей, які компенсують коливання підінтегральних виразів (1) на періоді напруги живлення,

Результати розрахунків складових потужності  $P_2, Q_2$  та відношення  $S_2/S$  за різних видів пошкоджень в прилеглий мережі з розглянутим вище несиметричним режимом наведені в табл.

Як видно з наведеної таблиці, при КЗ значення складових умовної потужності зворотної послідовності досягають досить великих значень, а відношення  $S_2/S > 0,5$ . Напрямок вектора  $\underline{S}_2$  у разі КЗ різних фаз зсувнутий на  $120^\circ$ . При подальшому дослідженні залежності вектора  $\underline{S}_2$  від характеру навантаження лінії виявлено, що при зміні характеру навантаження від активно-індуктивного до активного та зміщенні точки КЗ вздовж лінії розміщення вектора  $\underline{S}_2$  на координатній площині обмежується достатньо вузькими секторами круга.

Що стосується обривів фаз, то співвідношення  $S_2/S$  залишились практично такими ж як і  $I_2/I_1$ . За результатами аналізу неповнофазних режимів встановлено, що складові умовної потужності зворотної послідовності теж можуть використовуватись як фазовий селектор для виявлення пошкоджених фаз.

Для підвищення чутливості захисту відхідних ліній з несиметричним навантаженням від обриву фази пропонується показник визначення неповнофазного режиму  $I_2/I_1$  (або  $S_2/S$ ) доповнити рівністю модулів приростів струмів  $\Delta I_2$  та  $\Delta I_1$  (або  $\Delta S_2$  та  $\Delta S$ ). При обриві однієї фази на відхідній лінії виникає приріст струму зворотної послідовності  $\Delta I_2$ , який по модулю рівний приросту струму прямої послідовності  $\Delta I_1$  (див. рис. 2). Для фази  $A$  прирости струмів  $\Delta I_2$  та  $\Delta I_1$  будуть знаходитись у фазі, а для фаз  $B$  та  $C$  між ними буде зсув  $120^\circ$ . Аналогічні співвідношення справедливі і для приростів умовної потужності зворотної послідовності.

Слід зазначити, що аналогічна ситуація виникає при двофазному КЗ на лінії, що знаходиться в режимі холостого ходу (або при нехтуванні значенням струму в непошкодженій фазі). Для відстройки від такого режиму слід ввести обмеження за значенням  $I_1 = I_{ном}$ . Тобто при  $I_1 > I_{ном}$  будемо вважати, що відбувається КЗ і захист від неповнофазного режиму має заблокуватись, а при  $I_1 \leq I_{ном}$  захист від неповнофазного режиму повинен бути уведений в роботу.

**Висновки.** Пропонується в якості інформативного параметра виникнення неповнофазних режимів в розподільних мережах з об'єктами малої енергетики, зокрема фотоелектричними електростанціями, використовувати відношення струмів зворотної та прямої послідовностей  $I_2/I_1$  або умовної потужності зворотної послідовності та повної потужності  $S_2/S$  навантаження. Для захисту відхідних ліній з несиметричним навантаженням пропонується доповнити показник визначення неповнофазного режиму  $I_2/I_1$  (або  $S_2/S$ ) рівністю модулів приростів

струмів  $\Delta I_2$  та  $\Delta I_1$  (або потужностей  $\Delta S_2$  та  $\Delta S$ ) і використовувати їх як інформативні параметри для виявлення несиметричних пошкоджень відхідних ЛЕП. За результатами аналізу коротких замикань і неповнофазних режимів встановлено, що складові умовної потужності зворотної послідовності можуть використовуватись як фазовий селектор для виявлення пошкоджених фаз.

**Список літератури:** 1. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Раушенбах. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 360 с. 2. Беляев А. В. Защита, автоматика и управление на электростанциях малой энергетики (Часть 1) / А. В. Беляев. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2010. – 84 с. 3. Чернобровов Н. В. Релейная защита энергетических систем: Учебное пособие для техникумов / Н. В. Чернобровов, В. А. Семенов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с. 4. Нагай В. И. Релейная защита ответственных подстанций электрических сетей / В. И. Нагай. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 312 с. 5. Руководство по применению реле AREVA MiCOM P12x: P12x/RU AP F75. Руководство по применению реле AREVA MiCOM P521: P521/RU AP B11. 6. Бурбело М. Й. Вимірювання параметрів несиметричних швидкозмінних трифазних навантажень / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук, М. В. Никитенко // Технічна електродинаміка. – 2011. – № 2. – С. 54–56.

Поступила в редколлегию 11.02.2013

УДК 621.316

**Удосконалення захистів розподільних мереж з об'єктами малої енергетики (сонячними електростанціями) / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук // Вісник НТУ «ХПІ».** Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 17 (990). – С.26-31. Бібліогр.: 6 назв. Табл.: 1. Іл.: 2.

В статье обоснованы информативные параметры для выявления несимметричных повреждений линий электропередачи, прилегающих к объектам малой энергетики. Предлагается в качестве информативных параметров использовать отношения токов обратной и прямой последовательностей или условной мощности обратной последовательности и полной мощности нагрузки, а также равенство модулей приростов этих токов или мощностей.

**Ключевые слова:** короткие замыкания, неполнофазные режимы, отношения токов, приращения токов.

Informative parameters are justified to identify asymmetric damage power lines adjacent to the power industry of small objects in the article. The authors propose to use as informative parameters of the ratio of currents reverse and forward sequences or conditionally power reverse and full load power and the equality of these modules increments currents or powers.

**Keywords:** short-circuit, open-phase modes, current ratio, current increment.

УДК 621.316

**Ю.В. ВЛАДИМИРОВ**, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»;  
**Д.О. МАЛЫШЕВА**, магистрант, НТУ «ХПІ»

## **О ПРОЕКТЕ НОВОЙ РЕДАКЦИИ «МЕТОДИКИ ОБЧИСЛЕНИЯ ПЛАТЫ ЗА ПЕРЕТКАНИЯ РЕАКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МІЖ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАЛЬНОЮ ОРГАНІЗАЦІЄЮ ТА ЇЇ СПОЖИВАЧАМИ»**

В статье приведен сравнительный анализ различных редакций Методики расчета платы за перетекание реактивной энергии. Указаны концептуальные ошибки Методики в качестве экономического рычага для стимулирования потребителей к компенсации реактивной мощности в своих сетях. Намечены пути решения проблемы компенсации реактивной мощности в электрических сетях.

**Ключевые слова:** реактивная мощность, реактивная электроэнергия, компенсация, потребление, генерация.

Как известно, основной задачей компенсации реактивной мощности (КРМ) в электрических сетях всех назначений является уменьшение потерь активной электроэнергии за счет снижения дополнительных потерь, обусловленных протеканием в них реактивной составляющей полного тока. Проблема КРМ в электрических сетях энергосистем и различных электроснабжающих организаций напрямую связана с определением ответственных исполнителей в решении этого вопроса. С точки зрения монополиста (Министерства энергетики), решение этого вопроса обеспечила внедренная в действие «Методика розрахунків плати за перетоки реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та її споживачами» (в дальнейшем Методика) [1]. Предполагалось, что Методика станет тем экономическим рычагом, который обеспечит привлечение потребителей к КРМ. Фактически же, данная Методика возлагала всю ответственность за КРМ на потребителей электроэнергии, а электроснабжающие организации оставались «в стороне». Многочисленная критика Методики, в т.ч. и одного из авторов этой статьи [2], привела к изданию новой редакции Методики [3], где была предпринята попытка осуществить «косметический ремонт» Методики в соответствии с критическими замечаниями в ее адрес, а термин «енергопостачальна організація» был заменен на термин «електропередавальна організація». Концепция же второй редакции Методики осталась без изменения. Эта редакция Методики вызвала негативную реакцию специалистов [4-7] из-за большого количества

© Ю.В.Владимиров, Д.О.Мальшева, 2013