

моделях стационарных заземлителей и не учитывают особенностей характерных для электролитического заземления. 3. Электролитический кластер ПЭЗ в неоднородных грунтах имеет сложную форму и не может быть описан аналитически. 4. Резкое снижение сопротивления заземления происходит в момент преодоления кластером порога перколяции. Для создания проводимости достаточно даже одного пути перколяции. 5. Модель расчёта сопротивления ПЭЗ может быть разработана на основе перколяционной теории и теории геометрических фракталов.

**Список литературы:** 1. *Равикович И.Д.* Техника безопасности в передвижных электроустановках/ *И.Д.Равикович.*- М.: Энергия, 1976г., 2. ПУЭ 2009 Правила улаштування електроустановок, 3. ДСТУ Б В.2.5-38:2008 Національний стандарт України. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд, 4. ГОСТ 16556-81 Заземление для передвижных электроустановок. Общие технические условия, 5. *Иванов В.Г.*, Электролитические заземлители. Преимущества и перспективы использования/ *В.Г.Иванов, А.М.Чернюк* // Энергетика та електрифікація.- 2007.- №5, 6 Пат №46648 МПК Н 01 F 27/42. Переносний електролітичний заземлювач/ *Артюх С.Ф., Иванов В.Г., Мезеря А.Ю., Чернюк А.М., Колобродов С.О.*// Заявник та патентовласник УПА. опубл. 25.12.2009 7. *Буданов П.Ф.* Модель перколяції проводимості процесу електролітичного заземлення /*П.Ф.Буданов, А.М.Чернюк* // Озброєння і військова техніка.- 2012.-Вип 2(30) 8. *Буданов П.Ф.* Определение формы объёмного тела электролита в грунте при работе переносных электролитических заземлителей /*П.Ф.Буданов, О.П.Нечуйвітер, А.Ю.Мезеря А.М. Чернюк Ю.А.Пархоменко* // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил.- 2012.- Випуск 1(30) 9. *Чернюк А.М.* Постановка экспериментальных исследований по определению характеристик работы электролитического заземлителя/ *А.М.Чернюк*//; II-я международная научно-практическая конференция «Качество технологий – качество жизни» г.Судак 2010.

*Поступила в редколлегию 14.02.2013*

УДК 621.316.953:621.04.8

**Експериментальне визначення електрофізичних параметрів поверхневих електролітичних заземлювачів передвижних електроустановок / Буданов П.Ф., Чернюк А.М.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 17 (990). – С.8-17. Бібліогр.: 9 назв. Іл.: 8. Табл.: 1.

У статті представлений досвід експериментального визначення електрофізичних параметрів поверхневих електролітичних заземлювачів (ПЕЗ) на фізичній моделі і в польових випробуваннях. Підтверджена теоретична основа методу визначення опору ПЕЗ, заснованого на теорії перколяції і фрактальної геометрії

**Ключові слова:** заземлення пересувних електроустановок, поверхневі електролітичний заземлювач, польові випробування, електрофізичні параметри ґрунту

In the article experience of experimental determination of electric parameters is presented superficial electrolytic grounding (SEG) on a physical model and in the field tests. Theoretical basis of method of determination of resistance of SEG, based on the theory of fractal geometry is confirmed. Fig.: 8. Tabl.: 1. Bibliogr.: 9 title.

**Keywords:** superficial electrolytic grounding, of electric parameters,

УДК 621.316.925 (075.8)

*В.Н. БАЖЕНОВ*, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»

## **АНАЛИЗ РАБОТЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ДЛЯ ПОСЛЕАВАРИЙНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Рассмотрены вопросы формирования и осмысливания сообщений о состоянии электроустановок, устройств релейной защиты и автоматики в процессе аварийного режима системы электроснабжения.

**Ключевые слова :** электроснабжение, оперативное управление, конфигурация сети, релейная защита и автоматика, опознания параметров сети и режимов работы

В процессе аварийных событий, происходящих в системах электроснабжения (СЭС), после срабатывания релейной защиты и выключателей, определяющим для оперативного персонала является быстрая и точная оценка событий аварийного режима и принятие правильного решения для восстановления схемы СЭС в послеаварийном режиме (1,2,3). Для электроэнергетических систем, обладающих свойствами непрерывности и быстротечности переходных процессов, оценка событий работы релейной защиты и выключателей должна выполняться автоматически с применением современных средств вычислительной техники. Здесь немаловажное значение имеет наличие информации о предыстории выключателей, объемах и статистике релейной защиты и автоматики. Особое значение для принятия решений имеет анализ работы логической части релейной защиты, которая должна обеспечивать срабатывание по требованию и несрабатывание при внешних повреждениях либо при отсутствии последних. В целом, для надежного оперативного восстановления схемы СЭС в процессе аварийного режима и после него необходимо обладать информацией о конфигурации схемы СЭС, включенных и отключенных цепях, объемах релейной защиты и автоматики, цепях с возникшими повреждениями, отказах основных и резервных защит, излишних и ложных действиях релейной защиты, неправильных действий выключателей и блокировок защиты и автоматики. Главными источниками опознания отключенных электроустановок (ЭУ) и конфигурации сети являются фиксация отсутствия напряжения (ОН) и отключенного выключателя (ОВ). Отключенные электроустановки опознаются путем прослеживания по направлению к источнику питания.

© Баженов В. Н., 2013

Если выключатель отключен или отсутствует напряжение, то электроустановка отключена (ОЭ). Отключенные источники питания обнаруживаются путем замера напряжения с помощью измерительных трансформаторов напряжения TV. Для опознания отключенной ЭУ (ОЭ) используется уравнение

$$ОЭ = ОН + (П_n ОВ), \quad (1)$$

где  $n$  относится к выключателям электроустановки от всех источников питания.

Электроустановка отключена (ОЭ), если в ней отсутствует напряжение (ОН) или отключены все  $n$  выключатели по направлению к возможным источникам питания ИП (рис.1).

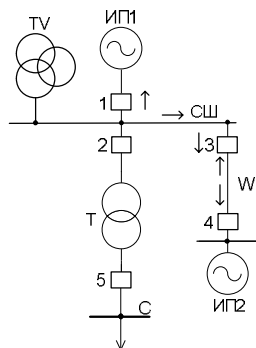


Рис. 1 – Опознание отключенной электроустановки

Опознание отключенных сборных шин. Сборные шины СШ отключены (рис. 1), если отсутствует напряжение (ОН) или отключены выключатели по направлению к ИП1 и ИП2 ( $ОВ_1$  и  $ОВ_3$ ):

$$ОЭ_{СШ} = ОН_{TV} + (ОВ_1 \cdot ОВ_3). \quad (2)$$

Опознание отключенной линии. Линия  $W$  отключена (рис.1), если отключены выключатели по направлению к ИП1 и ИП2 ( $ОВ_3$  и  $ОВ_4$ ):

$$ОЭ_W = ОВ_3 \cdot ОВ_4. \quad (3)$$

Опознание отключенного трансформатора. Трансформатор  $T$  отключен (рис. 1), если отключен выключатель по направлению к ИП1 (СШ):

$$ОЭ_T = ОВ_2. \quad (4)$$

Для опознания поврежденных электроустановок используется уравнение

$$ПЭ = ОЭ \cdot \left( \sum_i ОРЗ_i \right), \quad (5)$$

где  $i$  – относится ко всем основным защитах электроустановки (ОРЗ).

Поврежденная электроустановка (ПЭ) распознается (рис.2) по отключенному состоянию (ОЭ) и срабатыванию хотя бы одной её основной релейной защиты (ОРЗ).

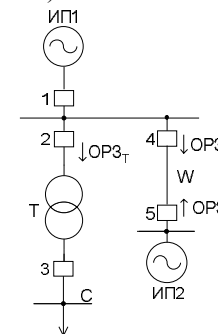


Рис. 2 - Опознание поврежденной электроустановки

Опознание поврежденного трансформатора. Если трансформатор  $T$  (рис. 2) отключен ( $ОЭ_T$ ), и сработала хотя бы одна основная защита (газовая  $ОРЗ_T$ , дифференциальная  $ОРЗ_{диф}$ , отсечка  $ОРЗ_{омс}$ ), то трансформатор поврежден:

$$ПЭ_T = ОЭ_T \cdot (ОРЗ_T + ОРЗ_{диф} + ОРЗ_{омс}) \quad (6)$$

Опознание поврежденной линии. Линия  $W$  (рис. 2) повреждена ( $ПЭ$ ), если она отключена  $ОЭ_W$  и получены сигналы хотя бы от одной из основных защит линии ( $ОРЗ_3$  или  $ОРЗ_4$ ):

$$ПЭ_W = ОЭ_W \cdot (ОРЗ_3 + ОРЗ_4) \quad (7)$$

Для опознания отказа  $k$ -той основной защиты ( $ОРЗ_k$ ) рассматриваемой поврежденной электроустановки применим уравнение :

$$ООРЗ_k = ПЭ \cdot \overline{ОРЗ_k}, \quad (8)$$

где  $\overline{ОРЗ_k}$  – относится к несрабатыванию  $k$ -той основной защиты поврежденной электроустановки.

Отказ  $k$ -той основной защиты электроустановки распознается по факту поврежденной ЭУ и несрабатыванию рассматриваемой защиты, входящей в комплект основных защит. Рассмотрим отказ газовой защиты трансформатора. Основными защитами трансформатора являются

дифференциальная и газовая. Если трансформатор Т (рис. 3), поврежден ( $ПЭ_T$ ), и не сработала одна из основных защит, например, газовая, то логически утверждается факт отказа газовой защиты трансформатора:

$$ООРЗ_G = ПЭ_T \cdot \overline{ОРЗ_G}. \quad (9)$$

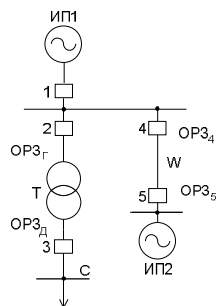


Рис. 3 – Опознание отказа газовой защиты трансформатора

Отказ основной релейной защиты на выключателе  $Q4$  линии  $W$ . Если в поврежденной линии  $W$  (рис. 3), не сработала основная защита со стороны ИП1, то можно утверждать, что произошел отказ защиты  $ОРЗ_4$ :

$$ООРЗ_4 = ПЭ_W \cdot \overline{ОРЗ_4}. \quad (10)$$

Для опознания отказа в отключении выключателей используется уравнение (11). Факт отказа в отключении  $n$ -выключателя электроустановки  $ООВ_n$  логически распознается по совокупности опознания поврежденной электроустановки (ПЭ), включенного состояния выключателя, который должен быть отключен ( $ВВ$ ), действия основных ( $ОРЗ$ ) или резервных защит ( $РРЗ$ ) на этом выключателе, и опознания отключенных всех смежных электроустановок ( $П_p ОЭ$ ) или выключателей со стороны источников питания ( $П_p ОВ$ )

$$ООВ_n = ПЭ \cdot ВВ_n \cdot (ОРЗ_n + РРЗ_n) \cdot (П_p ОЭ + П_p ОВ), \quad (11)$$

где  $p$  – относится ко всем смежным ЭУ или выключателям со стороны источников питания.

Пример опознания отказа  $Q7$  показан на рисунке 4.

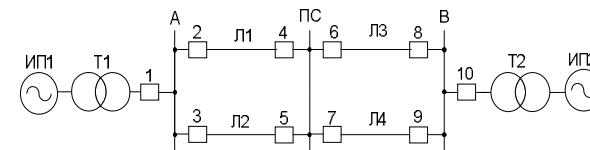


Рис. 4 – Опознание отказа выключателя

Факт отказа выключателя  $Q7$  определяется тогда, когда линия  $Л4$  повреждена ( $ПЭ_{Л4}$ ), и выключатель  $Q7$  включен ( $ВВ_7$ ), сработали основные ( $ОРЗ_7$ ) или резервные ( $РРЗ_7$ ) защиты рассматриваемого выключателя, и отключены пост секционирования (ПС) или смежные выключатели  $Q4, Q5, Q6$ :

$$ООВ_7 = ПЭ_{Л4} \cdot ВВ_7 \cdot (ОРЗ_7 + РРЗ_7) \cdot [ОЭ_{ПС} + (ОВ_4 \cdot ОВ_5 \cdot ОВ_6)]. \quad (12)$$

Для опознания ложной работы защиты при отсутствии поврежденной электроустановки используется уравнение 13. Ложное срабатывание  $k$ -той защиты  $ЛС_k$ , установленной на выключателе, распознается по отключенному состоянию выключателя ( $ОВ$ ), срабатыванию  $k$ -той защиты, несрабатыванию других основных или резервных защит своего выключателя и смежных с стороны питания выключателей.

$$ЛС_k = ОВ \cdot РЗ_k \cdot (П_m \overline{РЗ}), \quad (13)$$

где  $m$  – относится ко всем своим и смежным защитам кроме  $k$ -той защиты.

Пример опознания ложного срабатывания второй ступени дистанционной защиты ( $z''$ ) на выключателе  $Q3$  показан на рисунке 5.

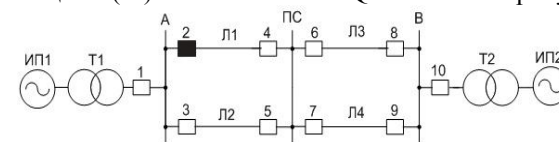


Рис. 5 – Опознание ложной работы защиты

Вторая ступень дистанционной защиты  $z''$  на выключателе  $Q3$  сработала ложно, если  $Q3$  отключен, сработала  $z''$  и не сработали все остальные защиты на своем  $Q3$  ( $3-z''$ ) и смежном со стороны источника питания  $Q1$

$$ЛС_{z''} = ОВ_3 \cdot РЗ_{z''} \cdot [(П_{3-z''} \overline{РЗ}) \cdot (П_1 \overline{РЗ})]. \quad (14)$$

Самопроизвольное отключение  $k$ -того выключателя распознается по фактам отключенного выключателя и несрабатыванию всех основных и резервных защит, установленных на рассматриваемом выключателе:

$$HOB_k = OB_k \cdot (\Pi_n \overline{OP3}) \cdot (\Pi_l \overline{PP3}), \quad (15)$$

где  $n$  – относится ко всем основным защитам рассматриваемого  $k$ -того выключателя;  $l$  – ко всем резервным защитам рассматриваемого  $k$ -того выключателя.

На рисунке 5 выключатель  $Q3$  неправильно (самопроизвольно) отключен, если установлено его отключенное состояние и несрабатывание всех двух основных и четырех резервных защит

$$HOB = OB \cdot (\Pi \overline{OP3}) \cdot (\Pi \overline{PP3}). \quad (16)$$

Неправильное срабатывание основной защиты распознается по фактам отключенного выключателя, срабатыванию рассматриваемой основной защиты и несрабатыванию всех резервных защит данного  $k$ -того выключателя

$$HOP3_k = OB_k \cdot OP3_k \cdot (\Pi_k \overline{PP3}). \quad (17)$$

На рисунке 6 дифференциальная защита трансформатора сработала неправильно ( $HOP3_d$ ), если выключатель  $Q1$  отключен ( $OB_{Q1}$ ), сработала дифференциальная защита ( $OP3_d$ ) и не сработали резервные защиты  $\overline{PP3_{T1}}$  и  $\overline{PP3_{T2}}$

$$HOP3_d = OB_{Q1} \cdot OP3_d \cdot (\overline{PP3_{T1}} \cdot \overline{PP3_{T2}}), \quad (18)$$

где индекс  $T1$  – резервная защита со стороны высшего напряжения; индекс  $T2$  – со стороны низшего напряжения.

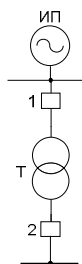


Рис. 6 – Опознание неправильного срабатывания основной защиты

Успешное восстановление ранее поврежденной электроустановки под действием автоматического повторного включения (АПВ) распознается по фактам действия основных защит, действия АПВ и включенного состояния выключателя

$$АПВПЭ = OP3 \cdot АПВ \cdot ВВ. \quad (19)$$

На рисунке 7 успешное автоматическое повторное включение линии Л2 распознается тогда, когда принят сигнал от АПВ и зарегистрированы действия основной релейной защиты и последнее положение включенного выключателя

$$АПВПЭ_{Л2} = OP3_2 \cdot АПВ_2 \cdot ВВ_2. \quad (20)$$

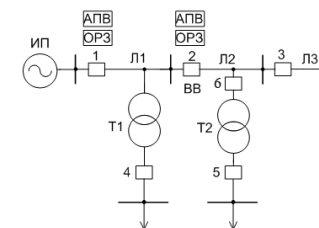


Рис. 7 – Пример опознания успешного автоматического восстановления ранее поврежденной электроустановки

Для опознания действия устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ) используется уравнение 21. Действие УРОВ распознается по фактам срабатывания  $k$ -той основной релейной защиты, включенного состояния  $k$ -того выключателя и отключенного положения всех смежных питающих выключателей

$$УРОВ = OP3_k \cdot ВВ_k \cdot (\Pi_n \overline{OB}), \quad (21)$$

где  $k$  – относится к неотключенному основной защитой выключателю;  $n$  – ко всем смежным выключателям от источников питания.

На рисунке 8 срабатывание УРОВ на подстанции ПС распознается тогда, когда после короткого замыкания сработала основная защита  $OP3_4$  и зарегистрированы включенное положение четвертого выключателя  $ВВ_4$  и отключенные положения смежных 1 и 3-го выключателей ( $OB_1$  и  $OB_3$ )

$$УРОВ_{ПС} = OP3_4 \cdot ВВ_4 \cdot (OB_1 \cdot OB_3). \quad (22)$$

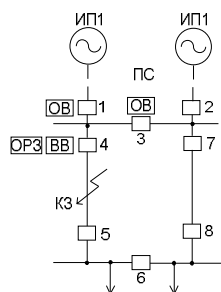


Рис. 8 – Пример опознания срабатывания УРОВ

**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 розімкненому радіальному режимі.

©М. Й. Бурбело, С.М. Мельничук, 2013