

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

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, опознавание 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 статистики 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 опознавания 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 опознавания 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 источником питания ИП (рис.1).

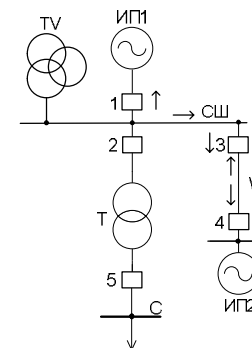


Рис. 1 – Опознавание отключенной электроустановки

Опознавание 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 $ОВ_3$):

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

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

$$ОЭ_W = ОВ_3 \cdot ОВ_4. \quad (3)$$

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

$$ОЭ_T = ОВ_2. \quad (4)$$

Для опознавания поврежденных электроустановок используется уравнение

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

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).

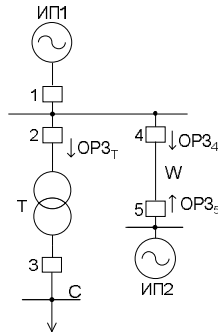


Рис. 2 - Оповещение поврежденной электроустановки

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

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

Оповещение поврежденной линии. Линия W (рис. 2) повреждена ($ПЭ_W$), 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 оповещения 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:

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

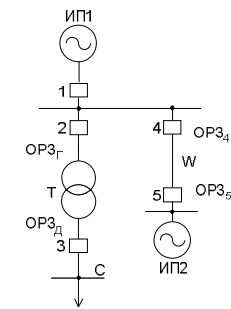


Рис. 3 – Оповещение отказа газовой защиты трансформатора

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 оповещения отказа в отключении выключателей используется уравнение (11). Факт отказа в отключении п-выключателя электроустановки $ООВ_n$ логически распознается по совокупности оповещения поврежденной электроустановки (ПЭ), включенного состояния выключателя, который должен быть отключен (ВВ), действия основных (ОРЗ) или резервных защит (РРЗ) на этом выключателе, и оповещения 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 оповещения отказа Q7 показан на рисунке 4.

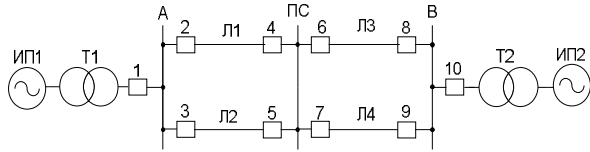


Рис. 4 – Оповещение отказа выключателя

Факт отказа выключателя $Q7$ определяется тогда, когда линия Л4 повреждена ($ПЭ_{Л4}$), и выключатель $Q7$ включен ($ВВ_7$), сработали основные ($OP3_7$) или резервные ($PP3_7$) защиты рассматриваемого выключателя, и отключены пост секционирования (ПС) или смежные выключатели $Q4, Q5, Q6$:

$$OOB_7 = ПЭ_{Л4} \cdot ВВ_7 \cdot (OP3_7 + PP3_7) \cdot [OЭ_{ПС} + (OB_4 \cdot OB_5 \cdot OB_6)]. \quad (12)$$

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.

$$ЛС_k = ОВ \cdot P3_k \cdot (П_m \overline{P3}), \quad (13)$$

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.

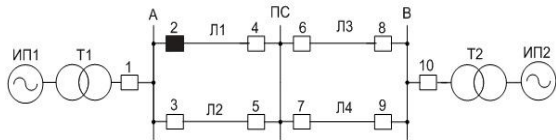


Рис. 5 – Оповещение ложной работы защиты

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

$$ЛС_{Z''} = OB_3 \cdot P3_{Z''} \cdot [(П_{3-Z'} \overline{P3}) \cdot (П_1 \overline{P3})]. \quad (14)$$

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

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

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

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

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

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

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.

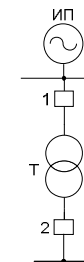


Рис. 6 – Оповещение неправильного срабатывания основной защиты

Успешное восстановление ранее поврежденной электроустановки под действием автоматического повторного включения (АПВ)

распознается по фактам действия основных защит, действия АПВ и включенного состояния выключателя

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

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

$$АПВПЭ_{Л2} = ОРЗ_2 \cdot АПВ_2 \cdot ВВ_2. \quad (20)$$

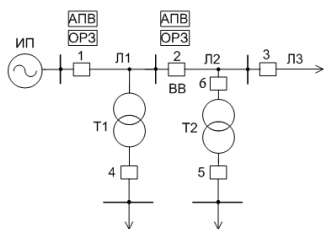


Рис. 7 – Пример опознания успешного автоматического восстановления ранее поврежденной электроустановки

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

$$УРОВ = ОРЗ_k \cdot ВВ_k \cdot (П_n ОВ), \quad (21)$$

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 $ОРЗ_4$ и зарегистрированы включенное положение четвертого выключателя $ВВ_4$ и отключенные положения смежных 1 и 3-го выключателей ($ОБ_1$ и $ОБ_3$)

$$УРОВ_{ПС} = ОРЗ_4 \cdot ВВ_4 \cdot (ОБ_1 \cdot ОБ_3). \quad (22)$$

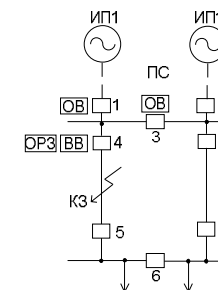


Рис. 8 – Пример опознания срабатывания УРОВ

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.: Выш.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 осмислення 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. ІІ. 8

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

