

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

УДК – 004.312.466:621.316.925

А. Н. Гребенюк, канд. техн. наук.

Украина, г. Днепр, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА СХЕМНОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ПРИ ОБРЫВЕ ФАЗНОГО ПРОВОДА

***Анотація.** Метою даного дослідження є виключення появи в кар'єрних розподільних мережах аварійних режимів, пов'язаних з обривом фазного проводу повітряної ЛЕП і запобігання подальшого розвитку аварії за допомогою пристрою захисного відключення. Для якого була розроблена функціональна схема логічного блоку пристрою захисту повітряної лінії при обриві фазного проводу, а також розроблений алгоритм роботи даного пристрою.*

***Ключові слова:** обрив фазного проводу, повітряна ЛЕП, функціональна схема, алгоритм роботи.*

***Аннотация.** Целью данного исследования является исключения появления в карьерных распределительных сетях аварийных режимов, связанных с обрывом фазного проводу воздушной ЛЭП и предотвращения дальнейшего развития аварии с помощью устройства защитного отключения. Для которого была разработана функциональная схема логического блока устройства защиты воздушной линии при обрыве фазного проводу, а также разработан алгоритм работы данного устройства.*

***Ключевые слова:** обрыв фазного проводу, воздушная ЛЭП, функциональная схема, алгоритм работы.*

***Abstract.** The purpose of this study is to exclude the occurrence of emergency modes in open-pit distribution networks associated with a broken phase wire of an overhead power line and prevent the further development of an accident using a residual current circuit breaker. the algorithm of this device.*

***Keywords:** phase wire breakage, overhead power line, functional diagram, operation algorithm.*

Обрыв фазного проводу в воздушных карьерных распределительных сетях напряжением 6 кВ заканчивается аварийным режимом - одним из трех (рассмотренных в разделе 2) видов замыкания на землю (на грунт). Выполненные на кафедре электрических машин при участии автора исследования процессов и характеристик аварийных токов при замыканиях на землю при обрыве проводу карьерных ЛЭП, а также анализ результатов исследований работоспособности средств защиты показали, что вероятно несрабатывание штатных и даже наиболее перспективных устройств защиты от замыканий на землю при определенных аварийных режимах. К таким аварийным режимам можно отнести замыкания на землю со стороны электроприемника, которые характеризуются уменьшением практически в два раза по сравнению с классическим видом замыкания напряжения и токов нулевой последовательности при прочих равных условиях. Если при этом учесть переходное сопротивление в точке замыкания (особенно в сухую или морозную погоду), то вероятность несрабатывания устройств защиты резко возрастает [1, 2, 5].

Длительное существование однофазного замыкания на землю (не отключение аварийного режима), как правило, сопровождается появлением более тяжелых для оборудования систем электроснабжения и более опасных для технологического персонала аварийных режимов. Исходя из этого, в общем случае основной целью защиты от замыканий на землю в распределительных сетях систем электроснабжения предприятий с передвижными электроустановками является предотвращение дальнейшего развития аварии и появления, наиболее опасных для обслуживающего персонала, двойных замыканий на землю [5].

Обеспечить необходимый уровень электробезопасности в карьерных сетях в рассматриваемых условиях представляется возможным исключив появления опасных процессов. Для исключения появления в карьерных распределительных сетях аварийных режимов, связанных с обрывом фазного проводу воздушной ЛЭП и предотвращения дальнейшего развития аварии, предлагается использовать принцип защитного (опережающего) отключения. Указанное мероприятие при соответствующей его реализации способно предотвратить появления режима замыкания на землю при обрыве фазного проводу воздушной ЛЭП за счет отключения линии от источника питания до момента касания оборванным проводом земли [13].

Один из предполагаемых способов обнаружения обрыва фазного проводу воздушной ЛЭП является исчезновение тока в поврежденной фазе. Для обеспечения выполнения требования надежности действия (исключения ложного срабатывания) предлагаемого устройства защитного отключения при обрыве фазного проводу необходимо проанализировать следующие возможные причины кратковременного отсутствия рабочих токов в одной из фаз в линии:

- - обрыв провода одной фазы ЛЭП;
- - одновременный обрыв проводов двух фаз ЛЭП;
- - несимметричное отключение линии силовым выключателем (разновременность размыкания контактов);
- - несимметричное включение нагруженной линии (разновременность замыкания контактов);
- - неполнофазный режим распределительной сети.

Обозначим возможные логические состояния воздушной линии распределительной сети карьера в виде функции f_i с устойчивыми значениями переменных x_1, x_2, x_3 , которые отражают состояние соответствующих фаз ЛЭП и принимают значения 0 или 1, где 1 - наличие тока в соответствующей фазе; 0 - отсутствие тока в соответствующей фазе. Три переменных x_1, x_2, x_3 , отражающих состояние могут иметь двенадцать наборов значений единиц и нулей, которые представлены в таблице 1.

На основе таблицы имеем следующие логические состояния линии и выключателя в начале линии:

- $f_1 (1,1,1)$ - наличие тока во всех трех фазах одновременно, выключатель включен;
- $f_2 (0,1,1), f_3 (1,0,1), f_4 (1,1,0)$ - отсутствие тока соответственно в фазах A, B и C , выключатель включен;
- $f_5 (0,0,1), f_6 (0,1,0), f_7 (1,0,0)$ - отсутствие тока в двух фазах соответственно в фазах A, B и C выключатель включен;
- $f_8 (0,0,0)$ - отсутствие тока во всех трех фазах линии одновременно, выключатель включен;
- $f_9 (0,0,0)$ - отсутствие тока во всех трех фазах линии одновременно, выключатель отключен;
- $f_{10} (0,0,1)$ - отсутствие тока в фазах A и B при наличии тока в одной фазе C , выключатель отключен;
- $f_{11} (0,1,0)$ - отсутствие тока в фазах A и C при наличии тока в одной фазе B , выключатель отключен;
- $f_{12} (1,0,0)$ - отсутствие тока в фазах B и C при наличии тока в одной фазе A , выключатель отключен.

Таблица 1.

Таблица состояний воздушной ЛЭП и ее выключателя

Состояние линии f_i	x_1	x_2	x_3	Состояние выключателя F
f_1	1	1	1	Включен
f_2	0	1	1	
f_3	1	0	1	
f_4	1	1	0	
f_5	0	0	1	
f_6	0	1	0	
f_7	1	0	0	
f_8	0	0	0	
f_9	0	0	0	Отключен
f_{10}	0	0	1	
f_{11}	0	1	0	
f_{12}	1	0	0	

Функция f_1 реализует нормальный режим работы линии и наличие нагрузки в каждой фазе (отсутствие разрыва). Состояния f_2, f_3, f_4 воздушной ЛЭП, которым соответствует замкнутое состояние силового выключателя, являются рабочими, а отсутствие тока в одной из фаз возможно при обрыве (разрыве) фазного провода или разновременность замыкания контактов выключателя при включении линии.

Функциям состояния f_5, f_6, f_7 , и f_8 соответствует замкнутое состояние силового выключателя при одновременном обрыве проводов двух фаз карьерной линии сопровождающееся, как правило, двухфазным коротким замыканием.

Функциям состояния f_9, f_{10}, f_{11} , и f_{12} соответствует разомкнутое состояние силового выключателя или режим несимметричного отключения линии силовым выключателем (разновременность размыкания контактов).

Защита от обрыва фазного провода карьерной ЛЭП должна срабатывать при отсутствии тока в одной из фаз линии или его резком уменьшении, что соответствует обрыву провода одной фазы. Одновременный обрыв проводов двух фаз карьерной линии сопровождается, как правило, двухфазным коротким замыканием, при котором действует на отключение максимальная токовая защита или токовая отсечка. Несимметрия токов в фазах, обусловленная работой силовых коммутационных аппаратов (как при включении, так и при отключении выключателя), составляет не более двадцати миллисекунд и устройство защитного отключения при обрыве фазного провода должно отстраиваться от таких режимов.

Основным функциональным элементом устройства защитного отключения является логический блок, в котором непрерывно производится контроль целостности фазных проводов карьерной ЛЭП с учетом появления возможных помех и формирование, по результатам мониторинга процессов в линии, соответствующей команды.

Функциональная блок-схема логического блока устройства защитного отключения представлена на рис. 1. Устройство содержит согласующие элементы 1, 2 и 3, подключенные к первичным датчикам тока каждой фазы; схему совпадения *И* на три входа (4); логический элемент *ИЛИ* (5); логический элемент *И-НЕ* (6); элемент задержки сигнала (7); логическую схему совпадения *И* на два входа (8) и выходной блок (9).

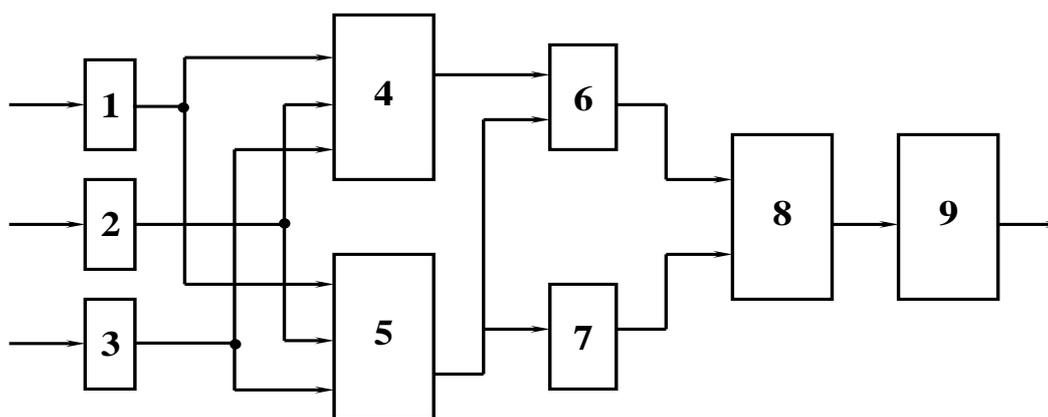


Рис. 1. Функциональная блок-схема логического блока устройства защитного отключения

Работает устройство защитного отключения при обрыве провода воздушной ЛЭП в соответствии с приведенной на рис. 1 блок-схеме. В нормальном режиме при подключенном к ЛЭП электроприемнике на входы согласующих элементов 1 – 3 логического блока устройства защитного отключения поступают ЭДС от соответствующих трансреакторов. Поступившие сигналы ограничиваются по величине, выпрямляются и в виде непрерывной логической единицы поступают на три входа схемы совпадения *И* (4) и логического элемента *ИЛИ* (5) соответственно. На выходах элементов 4 и 5 появляются сигналы логической единицы, которые поступают на два входа логического элемента *И-НЕ* (6), при этом с его выхода сигнал логического нуля поступает на первый вход схемы совпадения *И* (8). На второй вход этой схемы с выхода элемента *ИЛИ* (5) через элемент задержки 7 поступает сигнал логической единицы. В этом случае на вход выходного блока сигнал не поступает, и команда на отключение выключателю *Q* не формируется. Элемент 7 задержки сигнала (на время 20–30 мс) исключает ложную работу устройства от разновременности замыкания контактов силового выключателя при включении линии в работу.

При обрыве провода одной из фаз карьерной воздушной ЛЭП исчезнет сигнал на одном из входов схемы совпадения *И* (4) и логического элемента *ИЛИ* (5). В результате, на выходе элемента 4 сигнал логической единицы исчезнет, а на выходе элемента 5 - останется. При этом на обратный поменяется сигнал на выходе логического элемента *И-НЕ* (6), совпадут сигналы на входах схемы совпадения *И* (8), запустится выходной блок 9, который и сформирует команду на отключение силового выключателя и, соответственно, снятие напряжения поврежденной (аварийной) линии до момента касания оборванным проводом земли. Этим действием обеспечивается предотвращение однофазного замыкания на землю в карьерной распределительной сети.

При оперативном отключении линии исчезают сигналы на всех входах схемы совпадения *И* (4) и схемы *ИЛИ* (5), на их выходах появляются сигналы, соответствующие логическому нулю, и работа последующих элементов схемы защиты блокируется.

Для реализации цифровой части схемы возможно использование двух подходов, принципа программной и схемной логики [8, 9, 11]. Поскольку при реализации устройства защитного отключения при обрыве провода воздушной ЛЭП стоит задача высокого быстродействия при меньших затратах лучшим вариантом будет использование принципа схемной логики так как микроконтроллеры, которые из-за программного способа реализации алгоритмов медленнее программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) [8, 9].

Работа системы описывается алгоритмом, приведенным на рис. 2. На вход системы подается сигнал с датчиков тока пропорциональных токам фаз, а также сигнал контроля работы выключателя (блок 2, блок 3). Блок 4 контролирует работу выключателя. Если выключатель выключен, то осуществляется кон-

троль токов в фазах (блоки 14, 15, 16). При присутствии тока в одной или нескольких фазах для предотвращения ложного срабатывания через задержку времени (блок 17) подается сигнал оператору, информирующий о поломке выключателя.

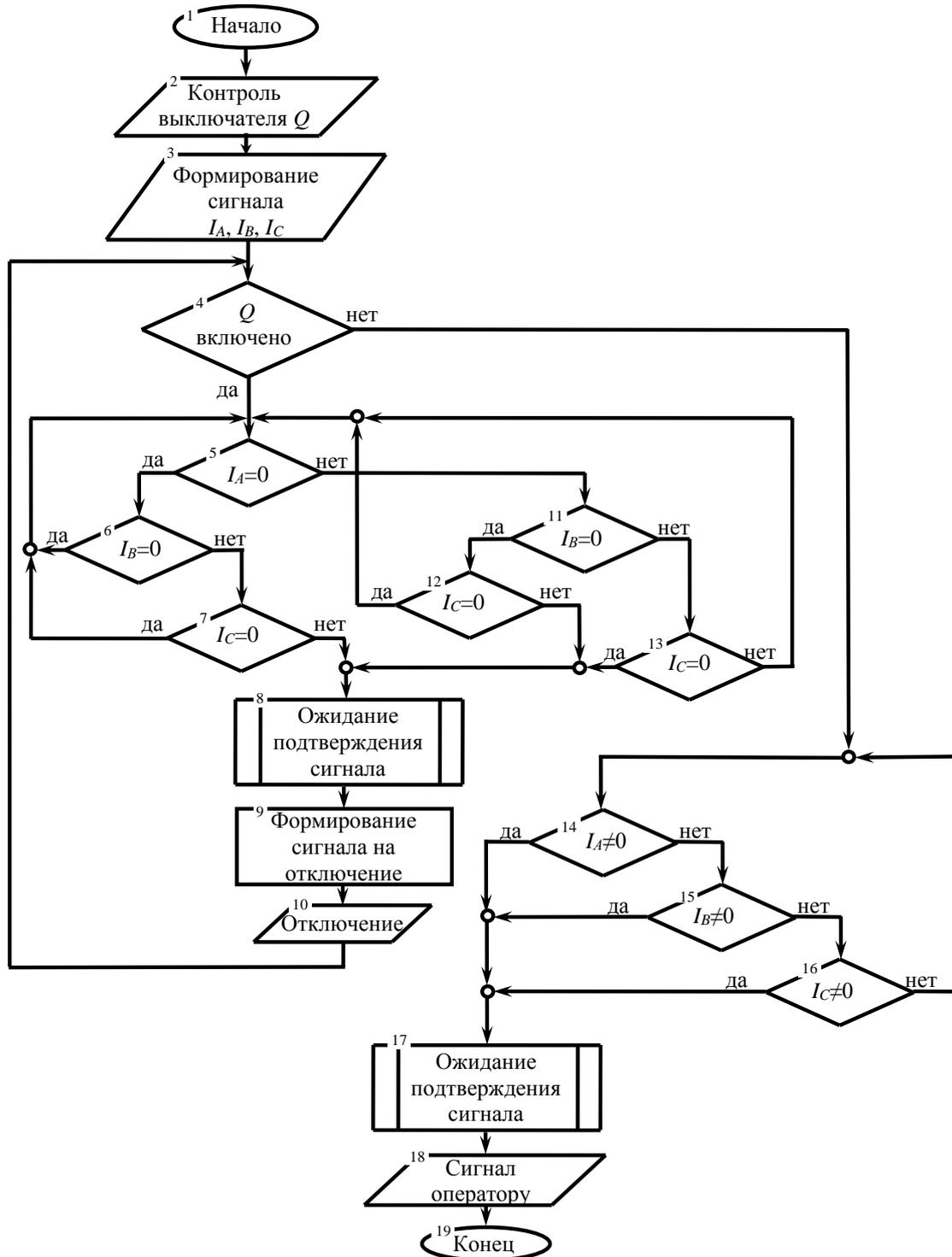


Рис. 2 Блок-схема алгоритма работы системы защиты от обрыва одной из фаз трехфазной линии

Если выключатель включен, то производится проверка тока фазы А (блок 5); если ток равен нулю производится проверка тока фазы В (блок 6); если ток равен нулю, то возвращаемся к точке контроля фазы А (блок 5). Это отвечает строке состояния f5 (таблица 1). Если ток фазы В (блок 6) не равен нулю, то проверяем наличие тока в фазе С (блок 7). Если ток равен нулю, это соответствует строке состояния f6 (таблица 1). При возникновении режимов, соответствующих состоянию линии f5, f6, f7, f8 (таблица 1)

система бездействует, так как при данных аварийных режимах существуют свои защиты. Если токи в фазах В, С (блок 6, блок 7) не равны нулю, то такой режим отвечает строке состояния f2. При этом подается сигнал через задержку времени (блок 8) для предотвращения ложного срабатывания на блок 9 который формирует сигнал на отключение. После отключения (блок 10) система снова контролирует, в каком положении находится выключатель.

Если выключатель включен, то производится проверка тока фазы А (блок 5); если ток не равен нулю – производится проверка тока фазы В (блок 11); если ток равен нулю, то проверяем ток в фазе С (блок 12); если ток равен нулю это соответствует строке состояния f7 (таблица 1) – система должна бездействовать, происходит возврат к контролю фазы А. Если ток в фазе С (блок 12) не равен нулю, то такой режим отвечает строке состояния f3 (таблица 1) – при этом полученный сигнал подается на блок задержки времени и далее формируется сигнал на отключение.

Если ток фазы В (блок 11) не равен нулю, то проверяем ток в фазе С (блок 13); если ток равен нулю, то это соответствует строке состояния f4 (таблица 1) необходимо отключить выключатель. Если ток фазы С (блок 13) не равен нулю, то это соответствует строке состояния f1 (таблица 1) – происходит возврат к контролю фазы А.

Когда выключатель выключен происходит контроль наличия тока в фазах А, В, С (блоки соответственно 14, 15, 16); если в какой либо фазе при выключенном выключателе появляется ток, то это соответствует строке состояния f10, f11, f12, (таблица 1), что возможно при поломке выключателя то через блок задержки времени (блок 17), который позволяет отстроится от ложных срабатываний – формируется сигнал оператору о присутствии напряжения на одной из фаз. Когда тока в фазах А, В, С нет, то это соответствует строке состояния f9 (таблица 1) – система должна бездействовать и происходит возврат к контролю фаз.

Выводы:

Для исключения появления в карьерных распределительных и тяговых сетях аварийных режимов, связанных с обрывом фазного провода воздушной ЛЭП или контактного провода и предотвращения дальнейшего развития аварии, предлагается использовать принцип защитного (опережающего) отключения. В соответствии с Блок-схемой алгоритма работы системы защиты от обрыва одной из фаз трехфазной линии возможно реализовать отключения линии от источника питания до момента касания оборванным проводом земли и способны предотвратить появление режима замыкания на землю при обрыве провода за счет отключения линии от источника питания до момента касания оборванным проводом земли.

Список литературы

1. Бухтояров В.Ф. Защита от замыканий на землю электроустановок карьеров / В.Ф. Бухтояров, А.В. Маврицын. – М.: Недра, 1986. – 184 с.
2. Вайштейн Р.А. Защита от замыканий в компенсированных сетях 6-10 кВ / Р.А. Вайштейн, С.И. Головкин, В.С. Григорьев, Е.Д. Коберник, В.Н. Максимов, С.М. Юдин // Электрические станции. – 1998. – №7. – С.26-31.
3. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах / В.С. Гутников. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 304 с.
4. Домрачев В.Г. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений: Справочное пособие / В.Г. Домрачев, В.Р. Матвеевский, Ю.С. Смирнов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 392 с.
5. Дударев Л.Е. Проблемы защиты от замыканий на землю в сетях 6-35 кВ / Л.Е. Дударев, В.В. Зубков // Электричество. – 1979. – № 2. – С. 8–12.
6. Калеляков Б.А. Цифровые устройства и микропроцессорные системы: Учебник для техникумов связи / Б.А. Калеляков. – М.: Горячая линия – Телеком, 2000. – 336 с.
7. Микропроцессорные гибкие системы релейной защиты. / под ред. Морозкина В.П. – М.: Энергоиздат, 1988. – 240 с.
8. Ленк Дж. Электронные схемы. Практическое руководство. – перевод с английского / Ленк Дж. – М.Н. Микшиса; – М.: Мир, 1985. – 344 с.
9. Назаренко В.М. Принципы построения и структура микропроцессорных систем защиты и автоматики / В.М. Назаренко, В.В. Рогоза, Б.С. Стогний, Ю.И. Холоденко // Электротехника. – 1985. – № 5. – С.46–48.
10. Опадчий Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): Учебн. для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; Под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2000. – 768с.
11. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника.-перевод с немецкого / У. Титце, К. Шенк под ред. А.А. Алексеенко. – М.: Мир, 1982 –512 с.
12. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника / Е.П. Угрюмов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2002. – 528с.
13. Фигурнов Е.П. Релейная защита Учебник для студентов электротехнических и электромеханических специальностей транспортных и других вузов / Е.П. Фигурнов. – К.: Транспорт Украины, 2004. – 565с.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Шкрабцем Ф.П.