

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАЩИТ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 380 В ОТ ОБРЫВОВ ПРОВОДОВ И ОДНОФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ**

*А.М. Ершов, С.Е. Скоринов*

В статье проведён анализ авторских свидетельств и патентов на изобретения и представлена классификация устройств защиты воздушных линий напряжением 380 В (ВЛ-380 В) от обрывов проводов и однофазных замыканий. Для построения защиты ВЛ-380 В используют следующие основные виды режимных параметров: изменения линейных напряжений и напряжений фаз относительно земли; изменения составляющих обратной и нулевой в напряжениях и токах электрической сети; наложение токов не промышленной частоты и др.

Ключевые слова: воздушная линия напряжением 380 В; обрывы нулевого и фазных проводов; однофазные короткие замыкания.

Обрывы проводов и однофазные короткие замыкания в воздушных линиях электрических сетей напряжением 380 В с глухо заземлённой нейтралью являются одним из наиболее частых видов повреждений. По разным источникам информации они составляют от 40 до 62 % от общего числа повреждений ВЛ-380 В. Проведём классификацию устройств защиты воздушных линий напряжением 380 В от обрывов нулевого и фазных проводов, а также однофазных коротких замыканий.

При возникновении продольной и поперечной несимметрии электрической сети, например, при обрывах нулевого и фазных проводов воздушной линии электропередачи, а также при однофазных коротких замыканиях меняются напряжения фаз относительно нулевого провода, перераспределяются токи в электрической сети и одновременно появляются симметричные составляющие напряжений и токов обратной и нулевой последовательности [1–3]. Информация об указанных изменениях может быть использована при построении защит электрической сети от возникающих несимметричных режимов работы.

***Токовые защиты, реагирующие на токи, протекающие по фазным проводам воздушной линии.*** Токовые защиты ВЛ-380 В, построенные с использованием плавких предохранителей и автоматических выключателей, устанавливаемых в начале ВЛ и реагирующих на увеличение токов, протекающих по нулевому и фазным проводам, предназначены для защиты электрической сети от однофазных или многофазных токов короткого замыкания [3, 4]. Но, в связи с быстрым снижением токов короткого замыкания по длине ВЛ, эти защитные аппараты имеют ограниченную зону защиты, не превышающую 250–350 м

При обрывах проводов ток поврежденной фазы или нулевого провода становится равным нулю, а токи в оставшихся проводах перераспределяются, но не превышают токов срабатывания плавких предохранителей и автоматических выключателей. Таким образом, эти защитные аппараты принципиально не могут обеспечить защиту ВЛ-380 В от обрывов проводов.

***Защиты, построенные на сравнении двух токов,*** протекающих по проводнику, соединяющему заземляющее устройство трансформаторной подстанции и нейтраль вторичной обмотки трансформатора, и нулевому рабочему проводу, или двух токов, протекающих на разных участках нулевого рабочего провода [5, 6]. Известно, что в нормальном режиме работы сети при любой несимметрии нагрузок линии ток, протекающий по нулевому проводу, всегда больше тока, протекающему по заземлению нейтрали трансформатора. При обрыве нулевого провода это соотношение меняется, что и используется для обнаружения аварийной ситуации.

***Защиты, реагирующие на изменение напряжений фаз относительно нулевого провода или земли.*** При обрыве фазного провода, когда напряжение на фазе становится ниже уставки (практически равно нулю), формируется логический сигнал, который анализируется и, если необходимо, отключает потребителя в конце линии с указанием поврежденной фазы [7–9].

Отключение потребителей при повышении или понижении фазных напряжений питающей электрической сети за допустимые пределы могут выполнять современные микропроцессорные счетчики за счет использова-

ния внутреннего реле управления нагрузкой РУН [10]. Данная дополнительная функция счетчика может быть использована и для определения обрывов проводов.

Устройство [11], установленное в конце линии и содержащее два реле, подключенные на два линейных напряжения, и одно реле, подключенное между фазным и нулевым проводами, выявляет обрывы фазных и нулевого проводов ВЛ-380 В, по каналу GSM передаёт сигнал в питающую трансформаторную подстанцию, где воздействует на независимый расцепитель автоматического выключателя и отключает ВЛ-380 В с оборванными проводами.

**Защиты, построенные на использовании напряжений и токов прямой, обратной и нулевой последовательности.** При обрыве фазного провода у потребителя появляются токи обратной последовательности, которые можно использовать, например, для защиты электродвигателя [12]. С помощью фильтра токов обратной последовательности выявляют их изменение и при превышении уставки, электродвигатель отключают от сети. Этот вид защиты может быть использован только для защиты отдельного электроприёмника, питающегося от повреждённой ВЛ. Защиту линии осуществить с помощью него нельзя.

При обрыве фазы возникает несимметрия напряжений, которая может быть обнаружена с помощью фильтра напряжений обратной последовательности [13, 14]. В устройствах защиты [15–18] фильтр напряжения обратной последовательности выявляет обрыв фазного провода, подаёт команду на включение короткозамыкателя, создающего трёхфазное короткое замыкание в конце линии, которое отключается токовыми защитами, установленными вначале ВЛ-380 В.

**Защиты, построенные на использовании дифференциальных токов.** Для выявления повреждений электрической сети напряжением 380 В широко используют дифференциальные токи, получаемые в результате векторного суммирования различных сочетаний токов четырёхпроводной и пятипроводной электрической сети.

1. Векторная сумма трёх фазных токов четырёхпроводной воздушной линии представляет дифференциальный ток, который при отсутствии сопротивлений повторных заземлений нулевого провода и сопротивления заземляющего устройства у потребителя равен току, протекающему по нулевому проводу, равному току нулевой последовательности, возникающему в трёхфазной системе относительно нулевого провода.

При симметричной нагрузке воздушной линии дифференциальный ток и ток в нулевом проводе равны нулю, а при неравенстве однофазных нагрузок могут достигать половины максимального фазного тока нагрузки ВЛ.

При возникновении обрыва фазного провода ВЛ существенно изменяется распределение токов в электрической сети, в частности, ток нагрузки повреждённой фазы становится равным нулю. При симметричной нагрузке и отсутствии повторных заземлений нулевого провода дифференциальный ток ВЛ будет равен току фазы, в которой произошёл обрыв провода.

При однофазном коротком замыкании на нулевой провод характер распределения токов в электрической сети существенно не меняется, т.к. сопротивление току однофазного короткого замыкания соответствует мощной однофазной нагрузке. Следовательно, ток однофазного короткого замыкания появляется в токе повреждённой фазы и дифференциальном токе ВЛ.

Наличие повторных заземлений нулевого провода ВЛ и заземляющих устройств у потребителей обуславливает стекание с нулевого провода ВЛ и создаёт небаланс токов для трёхфазной четырёхпроводной воздушной линии. От несимметрии однофазных нагрузок и небаланса токов должны быть отстроены защиты ВЛ от ОКЗ. Уставку по току предлагается принимать равной 70 % расчётного тока одной фазы. Данный дифференциальный ток используется в ряде устройств защиты [4, 19–22].

2. Векторная сумма четырёх токов четырёхпроводной воздушной линии представляет дифференциальный ток, который при отсутствии сопротивлений повторных заземлителей и сопротивления заземляющего устройства у потребителя, равен току, протекающему на участке схемы между заземляющим устройством ТП и точкой соединения нулевого провода с нейтралью трансформатора. Этот дифференциальный ток используется в устройствах защитного отключения (УЗО), в частности в [23], и может быть использован в качестве информации для выявления однофазного замыкания на землю, например, при обрыве и падении на землю фазного провода, а также каких-либо утечек изоляции с фаз на землю, например, при загрязнении изоляторов ВЛ.

3. Для выявления обрывов фазных и нулевого проводов может быть использовано измерение дифференциальных токов в пятипроводной электрической сети напряжением 380 В с глухо заземлённой нейтралью [24, 25]. Данное устройство предполагает использование восьми конденсаторов, включенных в разных точках электрической сети, и измерение дифференциального тока (векторной суммы токов, протекающих по этим восьми конденсаторам). В результате можно выявлять различные варианты обрывов проводов электрической сети. Однако этот способ реализуем только в пятипроводной электрической сети с разделёнными нулевым рабочим проводом N и нулевым защитным проводником PE, т.е. в сети с применением системы заземления TN–S. Реально все воздушные линии напряжением 380 В работают с совмещённым PEN-проводом, т.е. в сети с применением системы заземления TN–C.

**Защиты, построенные на использовании наложенных токов.** Для защиты ВЛ-380 В от обрыва фазного провода может быть использовано устройство, основанное на применении источника оперативного тока, устанавливаемого в конце ВЛ и состоящего из трёх цепочек «диод-резистор», и трансформатора тока нулевой последовательности (ТТНП), устанавливаемого в начале ВЛ для выявления оперативного тока [26–29]. При нормальном режиме работы импульсные сигналы, поступающие с RD-цепочек симметричны и сигнал на выходе ТТНП равен нулю, а при обрыве фазного провода симметрия импульсных сигналов нарушается, что выявляется с помощью ТТНП и обеспечивается срабатывание устройства защиты.

Одним из вариантов контроля целостности нулевого провода четырёхпроводной электрической сети является введение тока непромышленной частоты [30] или постоянного тока [31] в цепь нулевого провода, которые затем замыкаются по фазам электрической сети. При обрыве нулевого провода нарушается цепь прохождения этих токов по указанному контуру, что приводит к отключению автоматического выключателя, обесточивающего ВЛ.

Для выявления обрыва нулевого провода может быть использовано пропускание высокочастотных импульсов через нулевой провод и совокупность повторных заземлителей защищаемых линий [32].

**Защита, построенная на использовании широтно-импульсных сигналов,** которые поочерёдно подаются в разные фазы. В конце ВЛ на фазах установлены конденсаторы, которые отражают широтно-импульсные сигналы [33]. При нормальном режиме работы ВЛ возвращающийся сигнал имеет нарастающий фронт определённой длительности, при обрыве фазного или нулевого проводов сигнал не возвращается, а при коротком замыкании длительность сигнала максимальна. Соответствующим образом построенная измерительная и логическая части защиты позволяют выявлять указанные повреждения ВЛ.

**Заключение.** 1. Для построения защиты ВЛ-380 В используют следующие основные виды режимных параметров: изменения линейных напряжений и напряжений фаз относительно земли; изменения обратной и нулевой составляющих в напряжениях и токах электрической сети, наложение токов непромышленной частоты и др.

2. Для выявления режимов работы ВЛ-380 В используют следующие основные виды функциональных блоков: фильтры напряжений и токов обратной и нулевой последовательности; дифференциальные трансформаторы тока; частотные фильтры; блоки сравнения; логические схемы анализа режима.

### Библиографический список

1. Федосеев, А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей / А.М. Федосеев. – М. Энергоатомиздат, 1984. – 520 с.
2. Переходные процессы в электроэнергетических системах / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев, В.В. Пираторов; под ред. И.П. Крючкова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 416 с.
3. Григорьев, А.В. Защита сельских электросетей / А.В. Григорьев, А.И. Селивахин, В.И. Сукманов. – Алма-Ата: Кайнар, 1984. – 128 с.
4. Будзко, И.А. Электроснабжение сельского хозяйства / И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукманов. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
5. Пат. № 2230415 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Н 02 Н 5/10, G 01 R 31/02. Устройство контроля непрерывности нулевого проводника в воздушных линиях 0,4 кВ / Д.А. Апаров, А.И. Сидоров, В.А. Петров, В.В. Дружинин. – № 2002127852/28; заявл. 17.10.2002; опубл. 10.06.2004. – 5 с.
6. Пат. № 2356151 Российская Федерация, МПК Н 02 Н 5/10. Способ автоматического контроля параметров нулевого провода воздушных линий 0,4 кВ / К.С. Сережин, И.Ф. Суворов, А.И. Сидоров – № 2008105851/09; заявл. 15.02.2008; опубл. 20.05.2009. – 5 с.
7. А. с. № 815833 СССР, М. Кл.<sup>3</sup> Н 02 Н 3/24, Н 02 Н 5/10. Устройство для защиты от несимметричного режима работы электрической сети с изолированной или компенсированной нейтралью / А.М. Ершов, О.А. Петров. – № 2775470/24-07; заявл. 05.06.1979; опубл. 23.03.1981, Бюл. № 11. – 3 с.
8. А. с. № 1023494 СССР, М. Кл. Н 02 Н 3/16. Устройство для определения режима работы электрической сети с изолированной или компенсированной нейтралью / А.М. Ершов, О.А. Петров, Ю.В. Исаев. – № 3387655/24-07; заявл. 22.01.1982; опубл. 15.06.1983, Бюл. № 22. – 6 с.
9. А. с. № 1050031 СССР, М. Кл. Н 02 Н 3/16, Н 02 Н 3/24, Н 02 Н 5/10. Устройство для определения режима электрической сети / А.М. Ершов, О.А. Петров. – № 3275380/24-07; заявл. 10.04.1981; опубл. 23.10.1983, Бюл. № 39. – 6 с.
10. Пат. № 2498322 Российская Федерация, МПК G 01 R 11/00. Счетчик электрической энергии с защитным отключением / В.И. Винокуров, В.Н. Зыков, А.В. Григорьева. – № 2012121080/28; заявл. 22.05.2012; опубл. 10.11.2013. – 3 с.
11. Halevidis, C.D. Proposal of a protection method against probable consequences to humans and the environment from short-circuit or abruption of a low-voltage distribution line conductor. – IET Generation, Transmisson & Distribution, 2010, Vol. 4, Iss. 7, pp. 793–800.
12. А. с. № 714562 СССР, М. Кл.<sup>2</sup> Н 02 Н 5/10, Н 02 Н 3/08. Устройство для токовой защиты участка трехфазной линии от обрыва одного из фазных проводов / В.И. Сукманов, И.Г. Беляков, А.И. Селивахин, А.П. Кузнецов, Р.Ш. Сагаутдинов. – № 2585953/24-07; заявл. 03.03.1978; опубл. 05.02.1980, Бюл. № 5. – 3 с.
13. Пат. на п. м. № 94077 Российская Федерация, МПК Н 02 Н 99/00. Устройство для обнаружения трехфазных сетей с обрывами фазных проводов / Н.М. Попов, А.Н. Клочков. – № 2009148481/22; заявл. 25.12.2009; опубл. 10.05.2010. – 4 с.

14. Клочков, А.Н. Устройство для обнаружения трехфазных сетей с обрывом фазного провода / А.Н. Клочков // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 1. – С. 221–223.

15. А. с. № 884024 СССР, М. Кл.<sup>3</sup> Н 02 Н 5/10. Устройство для защиты трехфазной линии напряжением до 1000 В от обрыва фазных проводов / Р.Ш. Сагутдинов, В.И. Сукманов, В.И. Красников. – № 2895360/24-07; заявл. 19.03.1980; опубл. 23.11.1981, Бюл. № 43. – 3 с.

16. Сагутдинов, Р.Ш. Защита электрических сетей 0,38 кВ при обрыве проводов / Р.Ш. Сагутдинов, В.И. Красников, В.Г. Головацкий // Электрические станции. – 1982. – № 7. – С. 56–58

17. А. с. № 995190 СССР, М. Кл.<sup>3</sup> Н 02 Н 5/10. Устройство для защиты трехфазной линии напряжением до 1000 В от обрыва фазных проводов / Р.Ш. Сагутдинов, В.И. Красников, В.Г. Головацкий. – № 3317197/24-07; заявл. 17.07.1981; опубл. 07.02.1983, Бюл. № 5. – 3 с.

18. А. с. № 1210173 СССР, М. Кл. Н 02 Н 5/10. Устройство для защиты от обрыва фазного провода в электрических сетях напряжением 0,38 кВ / Р.Ш. Сагутдинов, В.П. Кобазев. – № 3765590/24-07; заявл. 04.07.1984; опубл. 07.02.1986, Бюл. № 5. – 5 с.

19. Херсонский, А.С. Селективная защита от однофазных коротких замыканий ФО-0,4 для распределительных сетей 0,4 кВ / А.С. Херсонский, А.Ш. Левин, Я.М. Фексон // Электрические станции. – 1975. – № 3. – С. 47–48.

20. Херсонский, А.С. Приставка к автоматическим выключателям для защиты сельских электросетей 0,4 кВ / А.С. Херсонский, Я.М. Фексон // Электрические станции. – 1977. – № 10. – С. 69–70.

21. А. с. № 180238 СССР, МПК Н 02 d. Устройство для селективной защиты от утечек сетей с изолированной нейтралью / Р.А. Богданов. – № 852785/24-07; заявл. 16.08.1963; опубл. 21.03.1966, Бюл. № 7. – 2 с.

22. А. с. № 702449 СССР, М. Кл.<sup>2</sup> Н 02 Н 3/16, Н 02 Н 5/10. Устройство для защиты от повреждения нескольких трехфазных потребителей / Н.М. Попов. – № 2617338/24-07; заявл. 12.05.78; опубл. 05.12.79, Бюл. № 45. – 3 с.

23. Пат. на п. м. № 124069 Российская Федерация, МПК Н 02 Н 3/16. Устройство защитного отключения электроустановки от сети переменного тока с тремя фазными проводами и нулевым проводом / В.С. Шкрабак, В.П. Сакулин, А.Е. Суетин и др. – № 2012115812/07; заявл. 19.04.2012; опубл. 10.01.2013. – 5 с.

24. Пат. № 2273936 Российская Федерация, МПК Н 02 Н 5/10, Н 02 Н 5/12. Устройство защитного отключения / Е.В. Халин, С.И. Коструба, Д.С. Стребков. – № 2004137355/09; заявл. 22.12.2004; опубл. 10.04.2006. – 4 с.

25. Коструба, С.И. Человека защитит УЗО при авариях на воздушных линиях электропередачи / С.И. Коструба // Новости электротехники. – 2004. – № 1 (25).

26. А. с. № 997164 СССР, М. Кл.<sup>3</sup> Н 02 Н 5/10, Н 02 Н 3/17. Устройство для защиты воздушной линии электропередачи от обрыва фазного провода / Х.М. Желиховский, В.П. Кобазев, В.Е. Матвиенко, С.Ф. Капштык. – № 2928145/24-07; заявл. 22.05.1980; опубл. 15.02.1983, Бюл. № 6. – 3 с.

27. А. с. № 1035715 СССР, М. Кл. Н 02 Н 5/10. Устройство для защиты линии электропередачи с ответвлениями от обрыва фазных проводов / Х.М. Желиховский, В.П. Кобазев. – № 3410805/24-07; заявл. 24.03.1982; опубл. 15.08.1983, Бюл. № 30. – 3 с.

28. А. с. № 1206873 СССР, М. Кл. Н 02 Н 5/10. Устройство для защиты воздушной линии электропередачи от обрыва проводов / В.П. Кобазев, Р.Ш. Сагаутдинов, А.И. Селивахин, Х.М. Желиховский. – № 3717476/24-07; заявл. 02.04.1984; опубл. 23.01.1986, Бюл. № 3. – 3 с.

29. Селивахин, А.И. Защита воздушной линии электропередачи 0,38 кВ от обрыва фазного провода / А.И. Селивахин, В.П. Кобазев, Х.М. Желиховский // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1985. – № 7. – С. 55–57.

30. А. с. № 854249 СССР, М. Кл. Н 02 Н 5/10. Устройство для защиты электроустановки от обрыва нулевого провода в сети с глухо заземленной нейтралью / Э.Г. Краус, Б.Л. Геллер. – № 2842892/07; заявл. 22.11.1979; опубл. 07.05.1992, Бюл. № 17. – 3 с.

31. А. с. № 845115 СССР, М. Кл. <sup>3</sup> G 01 R 27/20. Устройство для контроля целостности заземляющей цепи передвижных электроустановок / Ю.В. Ситчихин, А.И. Сидоров. – № 2792737/18-21; заявл. 09.07.1979; опубл. 07.07.1981, Бюл. № 25. – 2 с.

32. Пат. № 2295186 Российская Федерация, МПК Н 02 Н 5/00. Способ автоматического контроля параметров нулевого провода воздушных и кабельных линий 0,4 кВ и устройство для его осуществления / И.Ф. Суворов, К.С. Сережин, В.В. Гальцев, А.И. Сидоров – № 2005140871/09; заявл. 26.12.2005; опубл. 10.03.2007. – 7 с.

33. А. с. № 1417097 СССР, М. Кл. Н 02 Н 5/10. Устройство для защиты линии электропередачи / В.А. Андреев, И.О. Карпов, А.Л. Дубов, А.Л. Буймистер. – № 4181207/24-07; заявл. 12.01.1987; опубл. 15.08.1988, Бюл. № 30. – 2 с.

[К содержанию](#)