

ПРИНЦИП ВЫЯВЛЕНИЯ ОБРЫВОВ ФАЗНЫХ И НУЛЕВОГО ПРОВОДОВ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ НАПРЯЖЕНИЕМ 380 В

А.В. Млоток

Опасность электропоражений людей и животных при эксплуатации воздушных линий напряжением 380 В общеизвестна. Существующие токовые защиты не реагируют на обрывы фазных и нулевого проводов (несимметричные режимы работы), поэтому воздушные линии с такими повреждениями длительное время могут находиться под напряжением.

В статье для выявления несимметричных режимов работы воздушной линии рассматривается возможность использования трехфазных микропроцессорных счетчиков электроэнергии, устанавливаемых на вводе у потребителя.

Для разработки устройства, позволяющего выявлять обрывы фазных и нулевого проводов, проведен анализ изменений напряжений при нормальных и несимметричных режимах работы электрических сетей и определены логические признаки идентификации этих режимов.

Предложено дополнить микропроцессорный счетчик электроэнергии рядом функций, которые позволили бы выявлять несимметричные режимы работы и организовывать передачу отключающего импульса по PLC-каналу в трансформаторную подстанцию для отключения автоматического выключателя, установленного в начале поврежденной воздушной линии. Представлена разработанная функциональная схема устройства, при включении которого в выпускаемые в нашей стране микропроцессорные счетчики, будет обеспечено отключение воздушной линии напряжением 380 В при возникновении в ней обрывов фазных и нулевого проводов, что повысит электробезопасность жителей, получающих электроэнергию в свои дома по этим линиям.

Ключевые слова: воздушная линия, обрыв фазных и нулевого проводов, анализатор режимов работы сети.

Опасность электропоражений людей и животных при эксплуатации воздушных линий напряжением 380 В (ВЛ-0,38 кВ) общеизвестна [1–9]. Существующие токовые защиты не реагируют на обрывы фазных и нулевого проводов, поэтому ВЛ-0,38 кВ с такими повреждениями длительное время могут находиться под напряжением [8, 9].

Решение задачи распознавания режимов работы ВЛ-0,38 кВ необходимо разделить на следующие части:

1) определение режимов работы ВЛ, связанных с обрывами фазных и нулевого проводов (несимметричных режимов работы) и опасных как для людей и животных, так и подключенных к электрической сети электроприемников;

2) определение нормальных режимов работы электрической сети, на которые устройства защиты не должны реагировать;

3) определение перечня информационных параметров, характеризующих как различные несимметричные, так и нормальные режимы работы ВЛ;

4) выявление логических признаков – параметров электрической сети (в нашем случае различного рода напряжений), различающих и характеризующих разные режимы ее работы;

5) определение логических связей между признаками;

6) построение функциональной схемы устройства защиты – анализатора режима работы электрической сети.

Для определения структуры устройств защиты от несимметричных режимов работы электрической сети напряжением 380 В нужно, с одной

стороны, знать параметры сети, на которые они должны реагировать, а с другой стороны, параметры, от которых следует отстраиваться.

Из достаточно большого круга повреждений ВЛ-0,38 кВ выберем наиболее характерные и опасные, связанные с обрывами фазных и нулевого проводов:

- 1) обрыв фазного провода;
- 2) обрыв фазного провода с его падением на землю со стороны питания;
- 3) обрыв нулевого провода;
- 4) обрыв нулевого провода с его падением со стороны потребителя;
- 5) одновременный обрыв фазного и нулевого проводов.

В нормальном режиме работы электрической сети следует учесть изменение несимметрии фазных нагрузок питающихся электроприемников, которое оказывает существенное влияние на напряжения в электрической сети.

Для разработки устройства защиты, позволяющего выявлять обрывы фазных и нулевого проводов, проведем анализ изменения напряжений при интересующих нас нормальных и несимметричных режимах работы электрических сетей.

На рис. 1 приведена схема питания потребителей электрической энергии по ВЛ-0,38 кВ. Работу ВЛ рассмотрим при нормальном режиме ее работы и двух вариантах несимметричных режимов электрической сети – обрыве фазного (ОФП) и нулевого (ОНП) проводов. Пунктирными линиями 1 и 2 обозначены два участка ВЛ (сечения 1 и 2) – до и после места возникновения несимметрии ли-

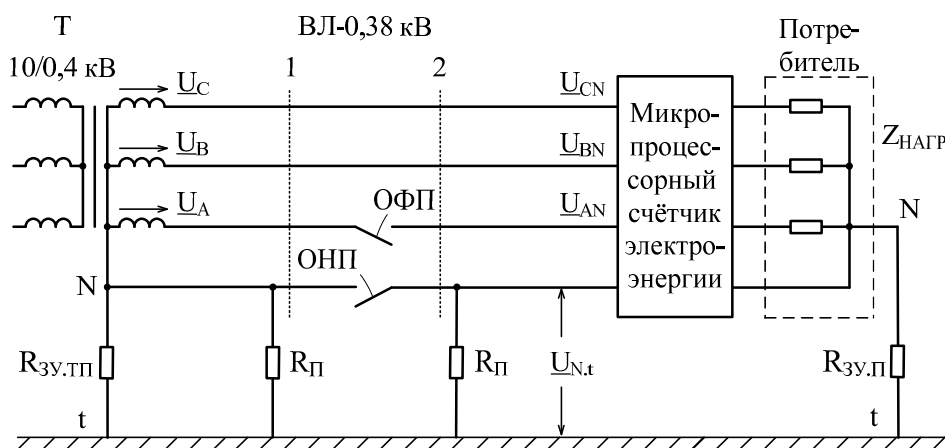


Рис. 1. Принципиальная схема электрической сети напряжением 380 В с воздушной линией электропередачи

нии (со стороны источника питания и со стороны потребителя). На схеме показаны: фазные напряжения на выводах силового трансформатора (U_A , U_B , U_C) и на вводе потребителя (U_{AN} , U_{BN} , U_{CN}) относительно нулевого провода N; напряжение $U_{N,t}$ между нулевым проводом N и землей t; $R_{3У.ТП}$, $R_{3У.П}$ – сопротивления заземляющих устройств трансформаторной подстанции и потребителя электроэнергии; $R_{П}$ – сопротивление повторных заземлителей ВЛ-0,38 кВ; $Z_{НАГР}$ – сопротивление нагрузки потребителя. На вводе потребителя включен микропроцессорный трехфазный счетчик электроэнергии.

Исследование распределения напряжений в разных точках электрической сети напряжением 380 В с глухо заземленной нейтралью при нормальных и возникновении несимметричных режимов работы проведено с использованием компьютерной модели, построенной на основе программного комплекса Matlab. Компьютерная модель электрической сети с применением системы TN-C включает в себя следующие элементы: энергосистему; силовой трансформатор напряжением 10/0,4 кВ; одиночную, радиальную, четырехпроводную воздушную линию с повторными заземлителями нулевого провода; электрическую нагрузку [10].

Обрывы фазных и нулевого проводов рассматривались в двух точках ВЛ: сразу после питающего трансформатора напряжением 10/0,4 кВ и перед потребителем. При этом учитывалось влияние следующих факторов:

1) изменение сопротивления нагрузки $Z_{НАГР} = R_{НАГР}$ в одной фазе или в двух фазах одновременно в диапазоне 0–100 % их расчетной мощности;

2) изменение сопротивления заземляющего устройства $R_{3У.П}$, установленного в нейтрали трехфазной нагрузки потребителя в диапазоне от 1 Ом до ∞ .

Для оценки состояния электрической сети проведено исследование изменений: напряжений фаз $U_{Ai,N}$, $U_{Bi,N}$, $U_{Ci,N}$ относительно нулевого провода N воздушной линии в разных точках ВЛ; на-

пряжения несимметрии $U_{НС} = 3U_0$ трехфазной системы напряжений относительно нулевого провода; напряжения нулевой последовательности U_0 ; напряжения нулевого провода $U_{N,t}$ относительно земли.

Диапазоны изменения напряжений электрической сети напряжением 380 В для предельных ее состояний представлены в табл. 1.

На основе этих данных можно определить логические признаки режимов работы электрической сети напряжением 380 В, которые приведены в табл. 2. Они получены путем дискретизации по уровням контролируемых параметров – напряжений фаз относительно нулевого провода $U_{\Phi_i,N}$ со стороны потребителя и напряжения несимметрии $U_{НС}$. В качестве фазного напряжения U_{Φ} принято фазное напряжение на зажимах трансформатора компьютерной модели при нормальном режиме работы сети и симметричной нагрузке – $U_{\Phi} = 233,7$ В.

Анализ логических признаков, приведенных в табл. 2, показывает:

1) при нормальном режиме работы электрической сети и изменении несимметрии нагрузок потребителя в диапазоне 0–100 % их расчетной мощности напряжения на фазах $U_{\Phi_i,N}$ меняются в пределах $(0,79–1,12)U_{\Phi}$, напряжение несимметрии $U_{НС} = (0–0,52)U_{\Phi}$;

2) при обрыве фазного провода существенными признаками этого несимметричного режима являются отсутствие напряжения на проводе поврежденной фазы со стороны потребителя $U_{\Phi_i,N} = 0$ и повышение напряжения несимметрии до величины $U_{НС} = (0,7–1,04)U_{\Phi}$;

3) при обрыве нулевого провода и предельной несимметрии нагрузок напряжение несимметрии может достигать значений $U_{НС} = (1,24–3)U_{\Phi}$, а напряжения на фазах находятся в пределах $U_{\Phi_i,N} = (0–1,732)U_{\Phi}$. Следует отметить, что предельный режим одновременного полного отсутствия нагрузок на двух фазах и обрыва нулевого провода (соответствующий режиму обрыва двух фазных и нулевого проводов), при котором напря-

Таблица 1

Диапазоны изменения напряжений электрической сети напряжением 380 В

| Режим | Величина нагрузки потребителя, % | $R_{з.у.п.}$, Ом | В месте возникновения несимметрии со стороны источника питания | | | В месте возникновения несимметрии со стороны потребителя | | | | | |
|------------------------|----------------------------------|-------------------|--|--------------|--------------|--|--------------|--------------|--------------|-----------|----------------|
| | | | U_{AN} , В | U_{BN} , В | U_{CN} , В | U_{AN} , В | U_{BN} , В | U_{CN} , В | $U_{НС}$, В | U_0 , В | $U_{N.t.}$, В |
| Нормальный | $Z_{Н.А} = 0$ | 1 | 260,1 | 190,3 | 209,3 | 260,1 | 190,3 | 209,3 | 106,2 | 35,4 | 4,2 |
| | | ∞ | 260,7 | 190,0 | 209,3 | 260,7 | 190,0 | 209,3 | 108 | 36 | 17,7 |
| | $Z_{Н.А} = Z_{Н.В} = 0$ | 1 | 261,3 | 237,5 | 185,2 | 261,3 | 237,5 | 185,2 | 119,4 | 39,8 | 4,7 |
| | | ∞ | 261,9 | 237,7 | 184,6 | 261,9 | 237,7 | 184,6 | 121,8 | 40,6 | 19,9 |
| Обрыв провода фазы А | $Z_{Н.А} = 0$ | 1 | 260,1 | 190,3 | 209,3 | 0 | 190,3 | 209,3 | 164,7 | 54,9 | 4,2 |
| | | ∞ | 260,7 | 190 | 209,3 | 0 | 190 | 209,3 | 163,8 | 54,6 | 17,7 |
| | $Z_{Н.А} = Z_{Н.В} = 0$ | 1 | 261,3 | 237,5 | 185,2 | 0 | 237,5 | 185,2 | 168,9 | 56,3 | 4,7 |
| | | ∞ | 261,9 | 237,7 | 184,6 | 0 | 237,7 | 184,6 | 168 | 56 | 19,9 |
| Обрыв провода фазы В | $Z_{Н.А} = 0$ | 1 | 261,3 | 237,5 | 185,2 | 261,3 | 0 | 185,2 | 243,3 | 81,1 | 4,7 |
| | | ∞ | 261,9 | 237,7 | 184,6 | 261,9 | 0 | 184,6 | 243,6 | 81,2 | 19,9 |
| | $Z_{Н.А} = Z_{Н.В} = 0$ | 1 | 261,3 | 237,5 | 185,2 | 261,3 | 0 | 185,2 | 243,3 | 81,1 | 4,7 |
| | | ∞ | 261,9 | 237,7 | 184,6 | 261,9 | 0 | 184,6 | 243,6 | 81,2 | 19,9 |
| Обрыв провода фазы С | $Z_{Н.А} = 0$ | 1 | 237,5 | 185,2 | 261,3 | 237,5 | 185,2 | 0 | 168,9 | 56,3 | 4,7 |
| | | ∞ | 237,5 | 184,6 | 261,9 | 237,7 | 184,6 | 0 | 168 | 56 | 19,9 |
| | $Z_{Н.А} = Z_{Н.В} = 0$ | 1 | 233,7 | 233,7 | 233,7 | 233,7 | 233,7 | 0 | 233,7 | 77,9 | 0 |
| | | ∞ | 233,7 | 233,7 | 233,7 | 233,7 | 233,7 | 0 | 233,7 | 77,9 | 0 |
| Обрыв нулевого провода | $Z_{Н.А} = 0$ | 1 | 235,6 | 216,5 | 212,4 | 328,7 | 183,8 | 182,9 | 289,5 | 96,5 | 22,8 |
| | | ∞ | 233,7 | 221,9 | 211,1 | 350,6 | 182,3 | 182,3 | 350,6 | 116,9 | 116,9 |
| | $Z_{Н.А} = Z_{Н.В} = 0$ | 1 | 239 | 231,5 | 223,4 | 342,2 | 343,8 | 66,4 | 487,5 | 162,5 | 38,4 |
| | | ∞ | 233,7 | 233,7 | 233,7 | 404,8* | 404,8* | 0* | 701,1 | 233,7 | 233,7 |

Таблица 2

Логические признаки режимов работы ВЛ-0,38 кВ

| Режим | Признаки | |
|------------------------|--|---------------------------------------|
| | $U_{\Phi i.N}$, о.е. | $U_{НС}$, о.е. |
| Нормальный | $1,12U_{\Phi} > U_{\Phi i.N} > 0,79U_{\Phi}$ | $0,52U_{\Phi} > U_{НС} > 0$ |
| Обрыв фазного провода | $U_{\Phi i.N} = 0$ | $1,04U_{\Phi} > U_{НС} > 0,7U_{\Phi}$ |
| Обрыв нулевого провода | $1,732U_{\Phi} > U_{\Phi i.N} > 0*$ | $3U_{\Phi} > U_{НС} > 1,24U_{\Phi}$ |

жения на двух возрастают до линейного значения, а на третьей фазе с нагрузкой (в рассматриваемом случае на фазе С) $U_{\Phi C.N}$ становится равным нулю (в табл. 1 и 2 значения напряжений помечены звездочкой *), маловероятен. В большинстве случаев напряжение на фазе С $U_{\Phi C.N}$ будет отличаться от нуля.

Таким образом, видна взаимосвязь контролируемых параметров и характерных режимов работы электрической сети. После этого можно определить структуру дополнительных функций, которыми необходимо дополнить микропроцессорные счетчики электрической энергии с целью выявления обрывов фазных и нулевого проводов, или построить функциональную схему отдельно выполняемого анализатора режимов работы электрической сети.

Рассмотрим возможность использования трехфазных микропроцессорных счетчиков электроэнергии для выявления несимметричных режимов работы ВЛ. На рис. 2 показана схема уста-

новки таких счетчиков с передачей информации по силовой электрической сети – PLC-каналу. Современные счетчики, кроме обработки информации о потребляемой электроэнергии, позволяют измерять и вычислять широкий перечень напряжений, токов, мощностей и др., в том числе некоторые показатели ее качества. Кроме того, они позволяют сопоставлять вычисляемые параметры с некоторыми уставками и при выходе их за заданные значения производить отключения потребителей. Например, при недопустимом снижении напряжения на какой-либо фазе счетчик может отключить потребителя [11–13]. Из этого перечня мы используем только информацию о напряжениях фаз относительно нулевого провода и вычисляемое напряжение несимметрии системы трех фазных напряжений относительно нулевого провода.

Предлагается дополнить микропроцессорный счетчик рядом функций, которые позволили бы выявлять несимметричные режимы работы ВЛ и организовывать передачу отключающего импульса

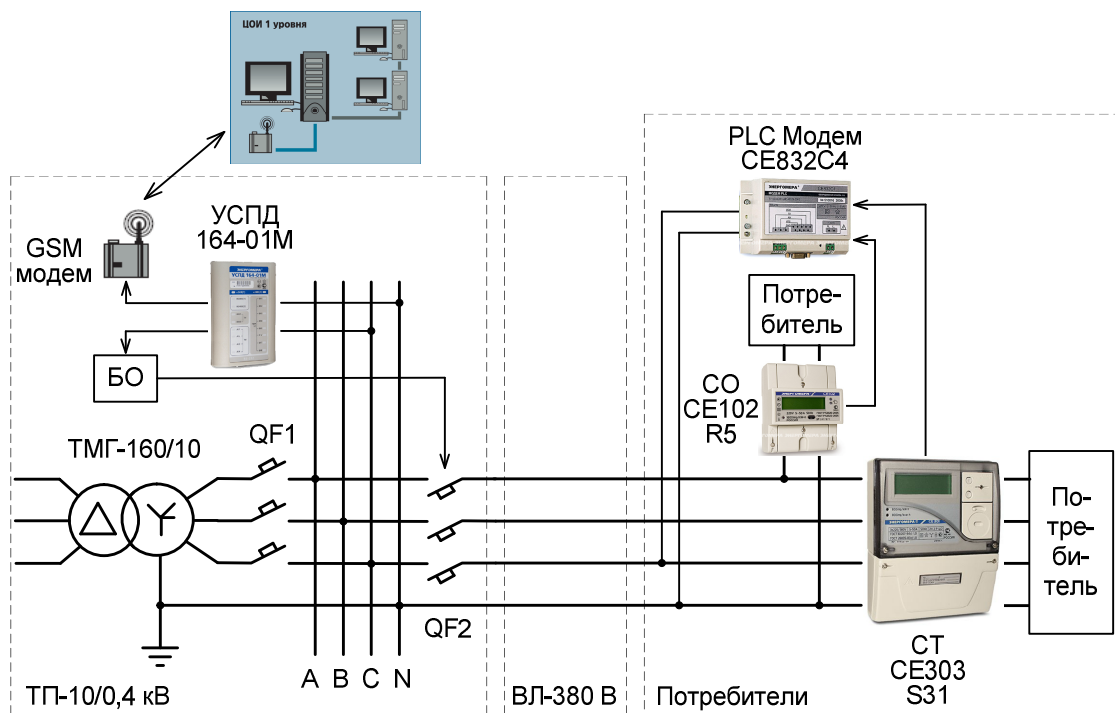


Рис. 2. Схема включения микропроцессорных счетчиков с передачей информации по PLC-каналу

по PLC-каналу в трансформаторную подстанцию для отключения автоматического выключателя QF2, установленного в начале ВЛ (см. рис. 2).

В микропроцессорном счетчике в его измерительно-логическом блоке предлагается внести следующие дополнительные функции:

1. Сравнение напряжений на всех трех фазах с некоторой уставкой напряжения $U_{\phi i} \leq U_{уст.1}$. Снижение напряжения $U_{\phi i}$ до определенного минимального уровня является признаком обрыва фазного провода.

2. Сравнение напряжения несимметрии с другой уставкой напряжения $U_{НС} \geq U_{уст.2}$. Повышение напряжения $U_{НС}$ выше определенного уровня является признаком обрыва нулевого провода.

В данной статье описывается один вариант набора дополнительных функций для микропроцессорного счетчика электрической энергии, которые могут быть также реализованы в виде отдельного устройства – анализатора режимов работы электрической сети. В результате анализа изменений напряжений фаз сети относительно нулевого провода на вводе потребителя можно выявлять и фиксировать три состояния электрической сети:

- нормальный режим работы;
- обрыв фазного провода;
- обрыв нулевого провода.

На рис. 3, а приведена функциональная схема анализатора режимов работы электрической сети. Здесь обозначено: ПН_А, ПН_В, ПН_С – преобразователи переменного напряжения в логический сигнал \bar{F} или F с уставкой по напряжению $U_{уст1}$; С – сумматор напряжений; ПН_Н – преобразователь

переменного напряжения в логический сигнал \bar{N} или N с уставкой по напряжению $U_{уст2}$; И_А, И_В, И_С, И₁ – логические элементы И; ИЛИ₁, ИЛИ₂ – логические элементы ИЛИ. На рис. 3, б показана стилизованная диаграмма напряжений анализатора режимов работы при различных состояниях электрической сети.

Напряжения фаз сети относительно нулевого провода \underline{U}_{AN} , \underline{U}_{BN} , \underline{U}_{CN} подаются на входы трех преобразователей ПН_А, ПН_В, ПН_С и входы сумматора С. В результате векторного суммирования трех напряжений на выходе сумматора С получается напряжение несимметрии $\underline{U}_{НС}$ системы трех фазных напряжений на вводе потребителя относительно нулевого провода. Преобразователи ПН_А, ПН_В, ПН_С имеют уставку по напряжению $U_{уст1} = 0,1U_{\phi}$, которая обеспечивает изменение выходного сигнала F с логической единицы до логического нуля одного из преобразователей ПН_i только при обрыве фазного провода и соответствующем понижении напряжения на фазе $U_{\phi i}$ относительно нулевого провода. Преобразователь ПН_Н имеет уставку по напряжению $0,6U_{\phi}$ и его выходной сигнал N изменяется с логического нуля до логической единицы при обрыве нулевого провода и повышении напряжения несимметрии $U_{НС}$.

Сигналы \bar{F} с инверсных выходов преобразователей ПН_А, ПН_В, ПН_С подаются на первые входы логических элементов И одноименных фаз (соответственно И_А, И_В, И_С, рис. 3, а) и на входы логического элемента ИЛИ₁, а сигналы F с неинверсных выходов преобразователей – на логические элементы И отстающей и опережающей фаз.

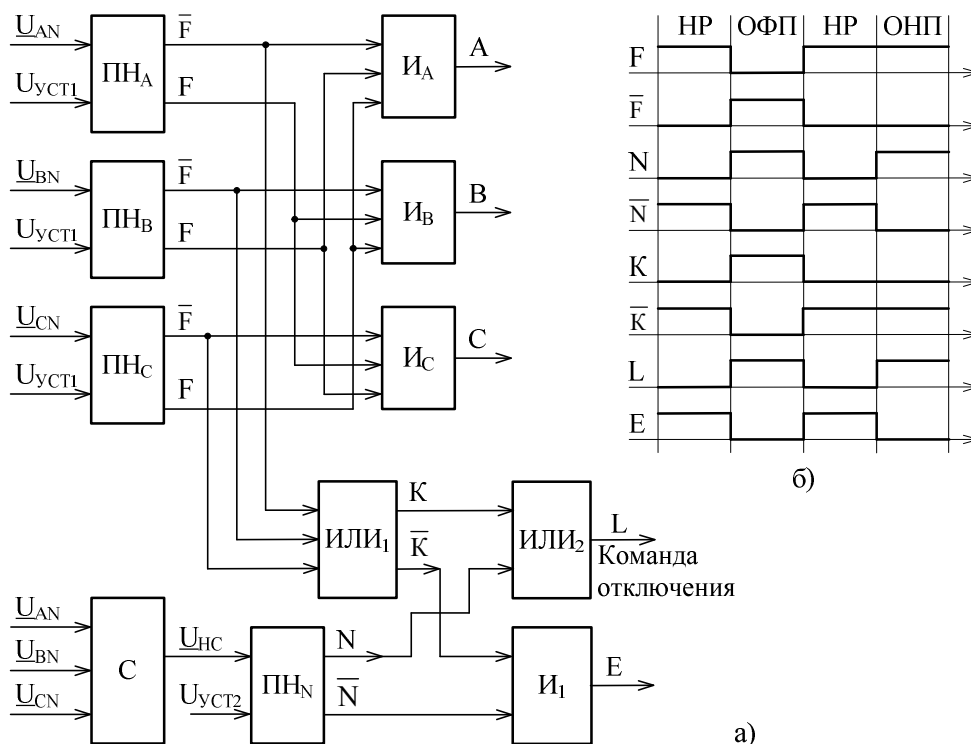


Рис. 3. Функциональная схема анализатора режима работы сети (а) и стилизованная диаграмма напряжений (б)

Такая схема соединений в нормальном режиме работы электрической сети обеспечивает запрет для логических элементов И от преобразователей одноименных фаз, а при возникновении обрыва фазного провода и понижении напряжения на фазе – разрешение для логического элемента И поврежденной фазы и подтверждение запрета для логических элементов И здоровых фаз. Логические элементы ИА, ИВ, ИС позволяют определять фазу, в которой произошел обрыв провода. Выходной сигнал К (см. рис. 3, б) логического элемента ИЛИ1 в нормальном режиме равен логическому нулю, а при возникновении обрыва провода на любой из фаз ВЛ становится равным логической единице.

Полученные сигналы K, \bar{K}, N, \bar{N} позволяют идентифицировать различные состояния воздушной линии (см. рис. 3, б).

1. Сигналы \bar{K} и \bar{N} с инверсных выходов логического элемента ИЛИ1 и преобразователя напряжения ПНН подаются на входы логического элемента И1. Его выходной сигнал Е будет равен логической единице только при нормальном режиме работы воздушной линии.

2. Сигнал К на выходе логического элемента ИЛИ1 равен логической единице при обрыве любого фазного провода.

3. Сигнал N на выходе преобразователя напряжения ПНН равен логической единице при обрыве нулевого провода.

4. Сигнал L на выходе логического элемента ИЛИ2 равен логической единице как при обрыве

фазных так и нулевого проводов и может быть использован для формирования команды отключения ВЛ.

5. С помощью логических элементов ИА, ИВ, ИС показывается провод оборванной фазы.

Функциональная схема может быть дополнена различного рода информационными блоками индикации как режимов работы электрической сети, так и указания вида повреждения.

Микропроцессорный счетчик электрической энергии (или отдельно выполненный анализатор режимов работы электрической сети) устанавливается на конечных участках ВЛ на вводе потребителя (см. рис. 2). При обрывах фазных и нулевого проводов формируется сигнал «Команда отключения», который по PLC-каналу передается на трансформаторную подстанцию, где с помощью блока отключения БО и автоматического выключателя QF2 должно обеспечиваться отключение поврежденной воздушной линии.

Заключение

1. Установленные и приведенные в статье диапазоны изменения напряжений электрической сети напряжением 380 В позволили предложить логические признаки различных режимов работы ВЛ-0,38 кВ.

2. На основании этих признаков предлагается дополнить применяемые в настоящее время в электрических сетях напряжением 380 В микропроцессорные счетчики определенными функциями, позволяющими выявлять обрывы фазных и нулевого проводов.

3. Разработана функциональная схема устройства, включение которого в выпускаемые в нашей стране микропроцессорные счетчики, обеспечит отключение ВЛ-0,38 кВ при возникновении указанных повреждений, что повысит электробезопасность для жителей, получающих электроэнергию в свои дома по этим линиям.

Литература

1. Якобс, А.И. *Электробезопасность в сельском хозяйстве* / А.И. Якобс, А.В. Луковников. – М.: Колос, 1981. – 239 с.

2. Григорьев, А.В. *Защита сельских электросетей* / А.В. Григорьев, А.И. Селивахин, В.И. Сукманов. – Алма-Ата: Кайнар, 1984. – 128 с.

3. Будзко, И.А. *Электроснабжение сельского хозяйства* / И.А. Будзко, Т.Б. Лецинская, В.И. Сукманов. – М.: Колос, 2000. – 536 с.

4. *Электробезопасность. Теория и практика: учебное пособие для вузов* / П.А. Долин, В.Т. Медведев, В.В. Крючков, А.Ф. Монахов; под ред. В.Т. Медведева. – М.: Издат. дом МЭИ, 2012. – 280 с.

5. Никольский, О.К. *Системы обеспечения электробезопасности в сельском хозяйстве* / О.К. Никольский. – Барнаул: Алт. кн. изд-во, 1977. – 192 с.

6. Александров, В.В. *Электробезопасность сельскохозяйственного производства: справ.* / В.В. Александров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Нива России, 1992. – 221 с.

7. Спеваков, П.И. *Проверка на автоматическое отключение линий в сетях напряжением до 1000 В* / П.И. Спеваков. – М.: Энергия, 1971. – 88 с.

8. Казимир, А.П. *Эксплуатация электроустановок и электробезопасность в сельском хозяйстве* / А.П. Казимир, И.Е. Керпелова, Н.И. Прудников. – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1980. – 191 с.

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

10. *Компьютерная модель для исследования несимметричных режимов работы воздушных линий напряжением 380 В* / Р.Г. Валеев, А.М. Ершов, А.И. Сидоров, А.В. Млоток // *Достижения науки – агропромышленному производству: материалы ЛП междунар. науч.-техн. конф.* – Челябинск: ЧГАА, 2013. – Ч. V. – С. 131–135.

11. *Счетчики электрической энергии: каталог*. – Ставрополь: ЗАО «Энергомера», 2013. – 32 с.

12. *Счетчик активной и реактивной электрической энергии трехфазный СЕ 303: рук. по эксплуатации*. – Ставрополь: ЗАО «Энергомера», 2013. – 65 с.

13. АСКУЭ. *Комплекс технических и программных средств «Энергомера»*. Прозрачные решения. – Ставрополь: ЗАО «Энергомера», 2013. – 8 с.

Млоток Алексей Владимирович, главный инженер филиала ОАО «МРСК Урала» – «Челябэнерго», г. Челябинск, аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, тел.: +7(351)2678359 (раб.), e-mail: secr@chel.elektra.ru.

Поступила в редакцию 19 сентября 2013 г.

**Bulletin of the South Ural State University
Series “Power Engineering”
2014, vol. 14, no. 4, pp. 41–47**

THE PRINCIPLE OF DETECTION BREAKAGES OF PHASE AND NEUTRAL WIRES IN OVERHEAD LINES VOLTAGE 380

A.V. Mlotok, MRSK Ural “Chelaybenargo”, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, secr@chel.elektra.ru

The electrocution danger of people and animals during an exploitation of overhead lines of 380 V is well-known. Existing current protection does not react on the breakages of phase and neutral wires (asymmetrical mode), so the overhead lines with such faults may be energized for a long time.

The article discusses the use of microprocessor-phase energy meters installed at the input of the consumer for the detection of asymmetrical modes of the overhead line.

In order to develop a device for identifying breakages of phase and neutral wires, there was conducted the analysis of voltage changes under normal operating conditions and in unbalanced electrical networks, and logical attributes identifying of these regimes were defined.

The authors propose to complement microprocessor electricity meter with a number of features that would identify asymmetric modes and organize the transfer of pulse through the PLC-channel to the transformer station for disconnection of the circuit breaker installed at the beginning of the damaged overhead line. The article presents the designed functional scheme of the device, the inclusion of which into domestically produced microprocessor meters will provide disabling of a 380 V overhead line in case of phase and neutral wire breakages. That will raise electrical safety for residents who receive electricity in their houses by these lines.

Keywords: overhead line, breakages of phase and neutral wires, network mode analyzer.

References

1. Yakobs A.I., Lukovnikov A.V. *Elektrobezopasnost' v sel'skom khozyaystve* [Electrical Safety in Agriculture]. Moscow, Kolos Publ., 1981. 239 p.
2. Grigoryev A.V., Selivakhin A.I., Sukmanov V.I. *Zashchita sel'skikh elektrosetey* [To Protect Rural Electricity]. Alma-Ata, 1984. 128 p.
3. Budzko I.A., Leshchinskaya T.B., Sukmanov V.I. *Elektrosnabzhenie sel'skogo khozyaystva* [Power Supply of Agricultural]. Moscow, Kolos Publ., 2000. 536 p.
4. Dolin P.A., Medvedev V.T., Kryuchkov V.V., Monakhov A.F. *Elektrobezopasnost'. Teoriya i praktika* [Electrical safety. Theory and Practice]. Moscow, Moscow Power Engineering Institute Publ., 2012. 280 p.
5. Nikolskiy O.K. *Sistemy obespecheniya elektrobezopasnosti v sel'skom khozyaystve* [System for Electrical Safety in Agriculture]. Barnaul, 1977. 192 p.
6. Aleksandrov V.V. *Elektrobezopasnost' sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva* [Electrical Safety for Agricultural Production Directory]. Moscow, Niva Rossii Publ., 1992. 221 p.
7. Spevakov P.I. *Proverka na avtomaticheskoe otklyuchenie liniy v setyakh napryazheniem do 1000 V* [Check for Automatic Disconnection of Lines in Systems Up to 1000 V]. Moscow, Energiya publ., 1971. 86 p.
8. Casimir A.P., Kerpelova I.E., Prudnikov N.I. *Ekspluatatsiya elektroustanovok i elektrobezopasnost' v sel'skom khozyaystve* [Exploitation of Electrical Installations and Electrical Safety in Agriculture], Leningrad, Kolos Publ., 1980. 191 p.
9. Selivahin A.I., Kobazev V.P., Zhelikhovsky K.M. [Protection of the overhead power line from the breakage 0.38 kV phase wire]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and Electrification of Agriculture]. 1985, no 7, pp. 55–57. (in Russ.)
10. Valeev R.G., Ershov A.M., Sidorov A.I., Mlotok A.V. [A Computer Model for Studying of Asymmetric Operating Modes in Overhead Lines of 380 V]. *Materialy LII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Dostizheniya nauki – agropromyshlennomu proizvodstvu"* [LII Proceedings of the International Scientific Conference "Achievements of Science to Agricultural Production"]. Chelyabinsk, 2013, part V, pp. 131–135. (in Russ.)
11. *Schetchiki elektricheskoy energii. Katalog* [Electric Energy Meters. Catalog]. Stavropol, CJSC Energomera, 2013. 32 p.
12. *Schetchik aktivnoy i reaktivnoy elektricheskoy energii trekhfaznyy SE 303. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [Electricity Meter for Active and Reactive Energy Three-Phase CE 303. Manual]. Stavropol, CJSC Energomera, 2013. 65 p.
13. *ASKUE. Kompleks tekhnicheskikh i programmnykh sredstv "Energomera". Prozhachnye resheniya* [AMR. Complex of the "Energomera" Hardware and Software. Transparent Solutions]. Stavropol, CJSC Energomera, 2013. 8 p.

Received 19 September 2013