

КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДА АВАРИЙНОГО РЕЖИМА
В СЕТЯХ 0,38 кВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОТНОШЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ

V.A. Soldatov, E.A. Chebesov,
I.I. Vylchu

CRITERIA OF DEFINITION OF THE TYPE OF EMERGENCY OPERATION IN NETWORKS OF 0.38 kW
WHEN USING THE RELATIONS OF TENSION AND CURRENTS

Солдатов В.А. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных технологий в электроэнергетике Костромской государственной сельскохозяйственной академии, Костромская область, Костромской р-н, п. Караваево. E-mail: soldmel@rambler.ru

Чебесов Е.А. – ассист. каф. теоретических основ электротехники и автоматики Костромской государственной сельскохозяйственной академии, Костромская область, Костромской р-н, п. Караваево. E-mail: chebesoff@mail.ru

Вилчу И.И. – студ. 3-го курса Костромской государственной сельскохозяйственной академии, Костромская область, Костромской р-н, п. Караваево. E-mail: vanea-vilcy@mail.ru

Soldatov V.A. – Dr. Tech. Sci., Prof., Head, Chair of Information Technologies in Power Industry, Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma Region, Kostroma District, Settlement Karavaevo. E-mail: soldmel@rambler.ru

Chebesov E.A. – Assist, Chair of Theoretical Bases of Electrical Equipment and Automation, Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma Region, Kostroma District, Settlement Karavaevo. E-mail: chebesoff@mail.ru

Vylchu I.I. – 3-year Student, Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma Region, Kostroma District, Settlement Karavayevo. E-mail: vanea-vilcy@mail.ru

Задача определения вида и места аварийных режимов в электрических сетях является важной и актуальной. В сетях класса 110 кВ и выше разработано много методик и приборов обнаружения аварийных режимов. При этом для расчета аварийного режима все чаще используется метод фазных координат. В распределительных сетях 0,38-6-10-35 кВ метод фазных координат используется пока ограниченно. Кроме того, для распределительных сетей промышленностью не выпускаются соответствующие приборы. Применение в распределительных сетях приборов, разработанных для сетей класса 110 кВ и выше, неэффективно как технически, так и экономически. Это требует необходимости разработки специальных методов и приборов, предназначенных именно для распределительных сетей. Определение вида и места аварийного режима требует разработки специальных критериев. На сегодняшний день большинство этих критериев основано на соотношениях напряжений

и токов в координатах трех симметричных составляющих. Однако сейчас идет их замена соотношениями реальных напряжений и токов в фазных координатах. Статья является продолжением исследований, ведущихся на кафедре информационных технологий в электроэнергетике ФГБОУ ВО «Костромская ГСХА». В данной работе поставлена задача разработки критериев определения видов аварийных режимов в сетях 0,38 кВ. Сам расчет аварийных режимов производился методом фазных координат. Исследованы три критерия определения видов аварийных режимов сетей 0,38 кВ с использованием отношений напряжений поврежденных фаз к напряжениям неповрежденных фаз; отношений токов поврежденных фаз к токам неповрежденных фаз; суммы этих отношений. Построены интервалы и выявлены диапазоны этих критериев, которые позволяют однозначно определить вид аварийного режима, как при металлическом замыкании, так и при замыкании через

переходное сопротивление. Полученные результаты можно использовать при разработке способов и приборов определения вида и места возникновения аварийного режима в сетях 0,38 кВ. Кроме разработки новых приборов, полученные результаты можно использовать в современных микропроцессорных устройствах защиты этих сетей, например в приборе СИРИУС-2-0,4. То есть можно расширить функции этого прибора и добавить вычислительный блок, основанный на результатах проведенных исследований.

Ключевые слова: аварийный режим, вид режима, сеть 0,38 кВ, критерии, интервал, металлическое замыкание, переходное сопротивление.

The problem of determining the type and location of emergency operation in electric networks is important and urgent. In the class of networks of 110 kW and higher, many techniques and emergency modes have been developed for detection devices. At the same time the calculation of the emergency operation is increasingly used as method of finding phase coordinates, but this method is limited for finding the phase coordinates in 0.38-6-10-35 kW distribution. In addition the industry does not yet produce the appropriate fittings for these distribution networks. The use of the distribution networks in the devices designed for networks of 110 kW and higher is neither technologically nor economically effective. As such, there is a need to develop special methods and instruments designed specifically for these distribution networks. Determination of the type and place of the emergency operation requires the development of specific criteria. Nowadays most of these criteria are based on the ratios of voltages and currents in the coordinates of three symmetrical components. However, replacement ratios of actual voltage and current in phase coordinates can now be used. This article is a continuation of the research being conducted in the department of Information Technology for electrical power at Kostroma state agricultural academy. The goal of this article is to develop criteria for determining the types of emergency operation in networks 0.38 kW. The calculation emergency operation was carried out by the phase coordinates themselves. Three criteria were investigated in order to determine the types of alarm modes for 0.38

kW networks. They included the relationship of stress in the corrupted phase to phase voltages left intact, the relationship of flow during the corrupted phase to flow during intact phases, and the sum of these relations. Intervals were built, and the ranges of these criteria were identified, allowing for the exact identification of the type of emergency mode, using both metal circuit, and in-circuit through contact resistance. The results can be used to develop methods and devices determining the type and location of an emergency mode in the networks of 0.38 kW. In addition to developing new devices, the results can be used in modern microprocessor devices in order to protect these networks, for example, in the device SIRIUS-2 0.4. That is, basing on the results of this research, the functionality of this device can be extended and added to the calculation process.

Keywords: emergency regime, the type of regime, 0.38 kW network, criteria, interval, metal short circuit, transitional resistance.

Введение. Определение видов аварийных режимов (АР) в распределительных электрических сетях 0,38-6-10-35 кВ является актуальной задачей [1, 2]. При этом можно использовать различные критерии. В выпускающихся приборах в основном используют критерии, основанные на соотношениях реальных значений напряжений и токов фаз [3]. Однако эти критерии сильно зависят от всех параметров фидера: длины линии, параметров трансформаторов, нагрузки, сечения проводов и так далее. Поэтому эффективнее использовать не сами реальные значения напряжений и токов, а их отношения.

Цель исследования. Разработка критериев определения видов аварийных режимов сетей 0,38 кВ.

Результаты и их обсуждение. В [4] исследована возможность применения критерия в качестве интервалов отношения напряжений поврежденных фаз к напряжениям неповрежденных фаз ($U_{np}/U_{нnp}$). Была исследована справедливость этого критерия при различных параметрах фидеров 0,38 кВ: длина линии; координаты и сечения проводов; мощность нагрузки; тангенс угла нагрузки; несимметрия нагрузки; прилегающая энергосистема; мощность питающего трансформатора [4]. Было показано, что

эти интервалы имеют частичное пересечение. Чтобы устранить этот недостаток, в качестве критерия можно использовать и отношения токов. Рассмотрим еще два дополнительных критерия: отношение токов поврежденных фаз к токам неповрежденных фаз (I_{np}/I_{nnp}), а также сумма отношений напряжений поврежденных фаз к напряжениям неповрежденных фаз и отношений их токов ($U_{np}/U_{nnp}+I_{np}/I_{nnp}$).

Таким образом, рассмотрим три критерия:

- 1 – отношение U_{np}/U_{nnp} .
- 2 – отношение I_{np}/I_{nnp} .
- 3 – сумма отношений $U_{np}/U_{nnp}+I_{np}/I_{nnp}$.

Обозначим эти критерии:

$$k1 = \frac{U_{nn}}{U_{nnp}}; k2 = \frac{I_{np}}{I_{nnp}}; k3 = \frac{U_{nn}}{U_{nnp}} + \frac{I_{np}}{I_{nnp}}.$$

В сети 0,38 кВ могут происходить металлические короткие замыкания или замыкания через переходное сопротивление. В [5] показано, что в сети 0,38 кВ для этих случаев можно пользоваться следующими значениями переходного сопротивления: при металлическом замыкании – 0,1 Ом, а при замыкании через переходное сопротивление – 50 Ом. При этих значениях наступает стабилизация токов и напряжений, то есть они уже не изменяются.

При исследованиях были рассчитаны следу-

ющие аварийные режимы: однофазные короткие замыкания (КЗ) на нулевой провод А-0, В-0, С-0; двухфазные короткие замыкания А-В, А-С, В-С; трехфазное короткое замыкание А-В-С-0; обрывы фаз А, В, С; однофазные короткие замыкания одновременно с обрывом А-0+А, В-0+В, С-0+С; однофазные обрывы с одновременным коротким замыканием А+А-0, В+В-0, С+С-0.

1. Критерии при металлическом замыкании

Примем, что в фидере 0,38 кВ короткие замыкания происходят без переходного сопротивления ($R_{пер}=0,1 \text{ Ом}$).

На рисунке 1 представлены интервалы согласно первому критерию $k1$. Видно, что интервалы напряжений имеют частичное пересечение.

На рисунке 2 представлены интервалы согласно второму критерию $k2$. Видно, что интервалы токов также имеют частичное пересечение, но в другой области и с другими режимами.

На рисунке 3 представлены интервалы согласно третьему критерию $k3$. Видно, что интервалы также имеют частичное пересечение, но в другой области и с другими режимами.

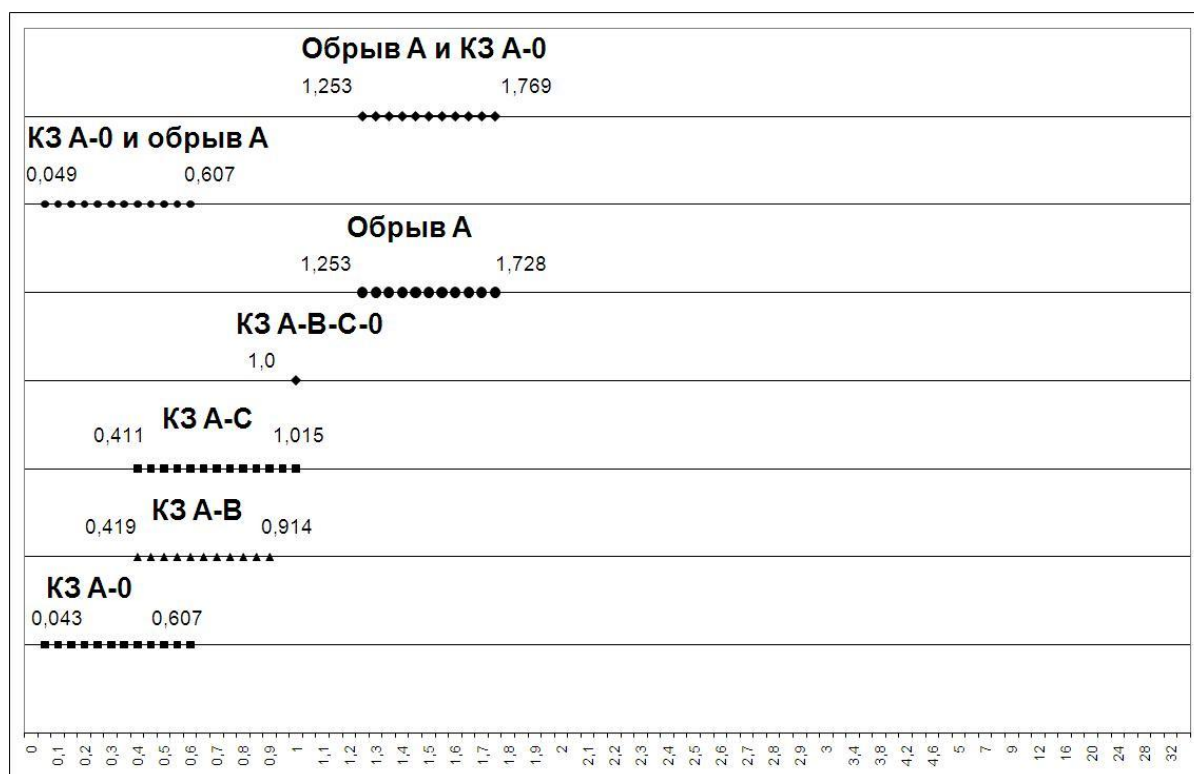


Рис. 1. Интервалы согласно первому критерию $k1=U_{np}/U_{npr}$

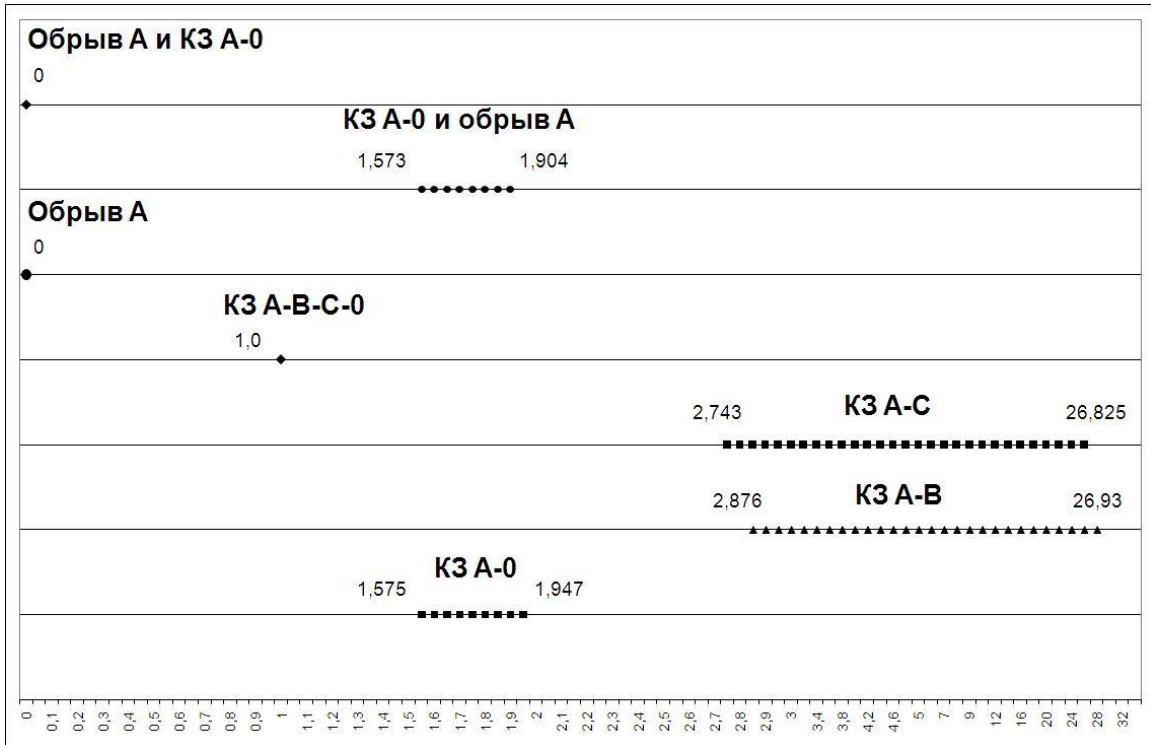


Рис. 2. Интервалы согласно второму критерию $k2=I_{np}/I_{npr}$

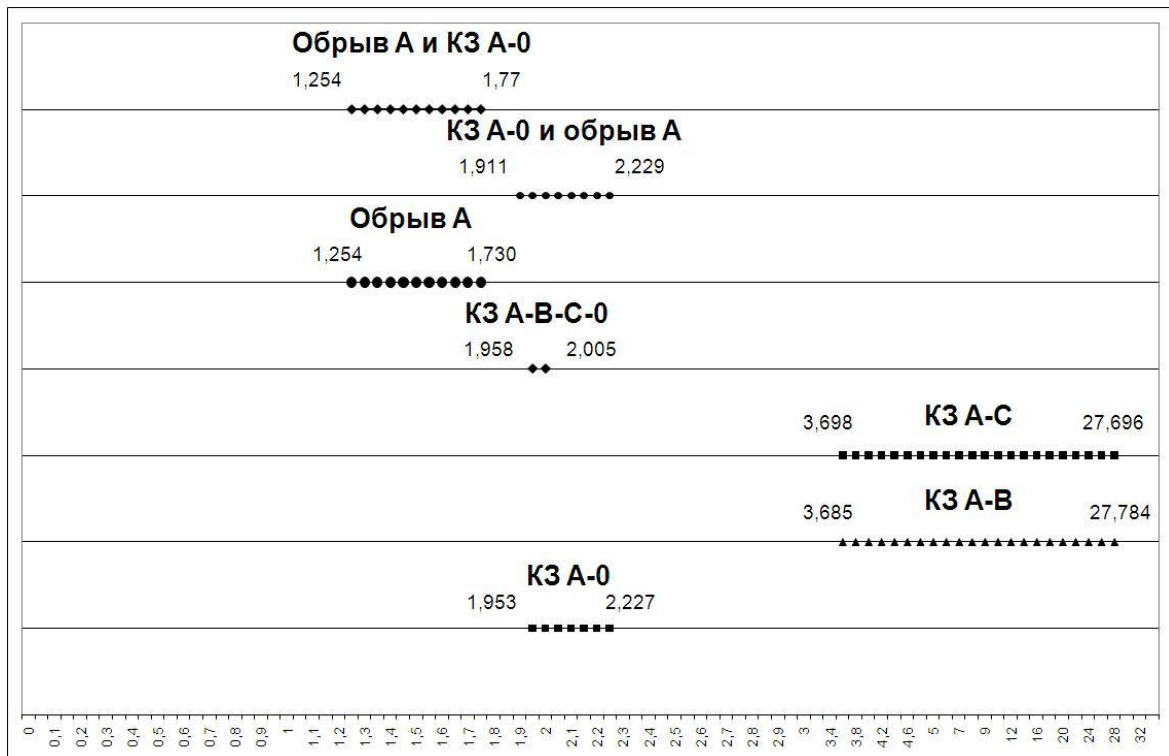


Рис. 3. Интервалы согласно третьему критерию $k3=U_{np}/U_{npr}+I_{np}/I_{npr}$

Таким образом, применение каждого из рассмотренных трех критериев ($k1$, $k2$, $k3$) в от-

дельности не дает строгого определения видов всех АР.

Однако, применяя одновременно все три критерия, можно однозначно определить виды всех аварийных режимов. Покажем это.

1. Рассмотрим режим однофазного короткого замыкания А-0:

- согласно первому критерию, он пересекается с тремя режимами: КЗ А-В; КЗ А-С и КЗ А-0 с обрывом А;

- согласно второму критерию, он пересекается только с режимом КЗ А-0 с обрывом А;

- согласно третьему критерию, он пересекается также только с режимом КЗ А-0 с обрывом А.

Таким образом, режимы КЗ А-0 и КЗ А-0 с обрывом совпадают.

Их можно определить, если:

$$0,043 \leq k_1 \leq 0,607 \text{ и } 1,575 \leq k_2 \leq 1,947 \text{ и } 1,953 \leq k_3 \leq 2,227 \text{ и } I_a/I_b > 1 \text{ и } I_a/I_c > 1.$$

2. Рассмотрим режим двухфазного короткого замыкания А-В:

- согласно первому критерию, он пересекается с тремя режимами: КЗ А-С; КЗ А-0 и КЗ А-0 с обрывом А;

- согласно второму критерию, он пересекается только с режимом КЗ А-С и не пересекается с КЗ А-0 и с КЗ А-0 с одновременным обрывом фазы А;

- согласно третьему критерию, он пересекается также только с режимом КЗ А-С.

Этот режим можно определить, если:

$$0,419 \leq k_1 \leq 0,914 \text{ и } 2,876 \leq k_2 \leq 26,93 \text{ и } 3,685 \leq k_3 \leq 27,784 \text{ и } I_a/I_c > 1 \text{ и } I_b/I_c > 1.$$

Таким образом, режим КЗ А-В определяется однозначно.

3. Рассмотрим режим двухфазного короткого замыкания А-С:

- согласно первому критерию, он пересекается с тремя режимами: КЗ А-В; КЗ А-0 и КЗ А-0 с обрывом А;

- согласно второму критерию, он пересекается только с режимом КЗ А-В и не пересекается с КЗ А-0 и КЗ А-0 с одновременным обрывом фазы А;

- согласно третьему критерию, он пересекается также только с режимом КЗ А-В.

Этот режим можно определить, если:

$$0,411 \leq k_1 \leq 1,015 \text{ и } 2,743 \leq k_2 \leq 26,825 \text{ и } 3,698 \leq k_3 \leq 27,696 \text{ и } I_a/I_b > 1 \text{ и } I_c/I_b > 1.$$

Таким образом, режим КЗ А-С определяется

однозначно.

4. Рассмотрим режим трехфазного короткого замыкания А-В-С-0:

- согласно первому критерию, он пересекается с двумя режимами: КЗ А-В; КЗ А-С;

- согласно второму критерию, он не пересекается ни с каким режимом;

- согласно третьему критерию, он пересекается только с режимами КЗ А-0 и КЗ А-0 с обрывом А.

Этот режим можно определить, если:

$$0,999 \leq k_1 \leq 1,01 \text{ и } 0,999 \leq k_2 \leq 1,01 \text{ и } 1,958 \leq k_3 \leq 2,005.$$

Таким образом, режим КЗ А-В-С-0 определяется однозначно.

5. Рассмотрим режим обрыва фазы А:

- согласно первому критерию, он пересекается с режимом обрыва А и КЗ А-0;

- согласно второму критерию, он пересекается с режимом обрыва А и КЗ А-0;

- согласно третьему критерию, он пересекается с режимом обрыва А и КЗ А-0.

Таким образом, режим обрыва фазы А и обрыва фазы А с одновременным КЗ совпадают.

Эти режимы можно определить, если:

$$1,253 \leq k_1 \leq 1,728 \text{ и } 0,001 \leq k_2 \leq 0,002 \text{ и } 1,254 \leq k_3 \leq 1,73.$$

6. Рассмотрим режим однофазного короткого замыкания А-0 и одновременного обрыва фазы А:

- согласно первому критерию, он пересекается с тремя режимами: КЗ А-В; КЗ А-С и КЗ А-0;

- согласно второму критерию, он пересекается только с режимом КЗ А-0;

- согласно третьему критерию, он пересекается с режимом КЗ А-0 и КЗ А-В-С-0.

Таким образом, режим КЗ А-0 и КЗ А-0 с обрывом совпадают.

Их можно определить, если:

$$0,049 \leq k_1 \leq 0,607 \text{ и } 1,573 \leq k_2 \leq 1,904 \text{ и } 1,911 \leq k_3 \leq 2,229 \text{ и } I_a/I_b > 1 \text{ и } I_a/I_c > 1.$$

Таким образом, при металлическом замыкании предложенные три критерия (k_1 , k_2 , k_3) позволяют однозначно определить все виды аварийных режимов.

2. Критерии при переходном сопротивлении

При исследованиях были приняты два значения переходного сопротивления: малое – $R_{пер} = 10 \text{ Ом}$ и большое – $R_{пер} = 50 \text{ Ом}$. В обоих случаях исследования показали, что по рас-

смотренным трем критериям (k_1 , k_2 , k_3) можно однозначно определить все виды аварийных режимов. Приведем лишь исследования при $R_{\text{пер}}=50 \text{ Ом}$. Были построены интервалы, аналогичные рисункам 1–3. Их анализ показал, что применение каждого из рассмотренных трех критериев в отдельности также не позволяет строго определить все виды АР. Однако, применяя одновременно все три критерия, можно однозначно определить виды всех аварийных режимов. В результате исследований получены следующие соотношения.

1. Режим однофазного короткого замыкания А-0 определяется однозначно, если критерии соотносятся как

$$0,947 \leq k_1 \leq 0,976; \quad 1,021 \leq k_2 \leq 1,065 \quad \text{и} \\ 1,984 \leq k_3 \leq 2,023.$$

2. Режим двухфазного короткого замыкания А-В определяется однозначно, если критерии соотносятся как

$$0,969 \leq k_1 \leq 0,981; \quad 1,056 \leq k_2 \leq 1,108 \quad \text{и} \\ 2,026 \leq k_3 \leq 2,09 \quad \text{и} \quad |a|/|c| > 1 \quad \text{и} \quad |b|/|c| > 1.$$

3. Режим двухфазного короткого замыкания А-С определяется однозначно, если критерии соотносятся как

$$0,985 \leq k_1 \leq 1,017; \quad 1,021 \leq k_2 \leq 1,102 \quad \text{и} \\ 2,038 \leq k_3 \leq 2,087 \quad \text{и} \quad |a|/|b| > 1 \quad \text{и} \quad |c|/|b| > 1.$$

4. Режим трехфазного короткого замыкания А-В-С-0 определяется однозначно, если критерии соотносятся как

$$0,97 \leq k_1 \leq 0,989; \quad 1,007 \leq k_2 \leq 1,021 \quad \text{и} \\ 1,991 \leq k_3 \leq 1,996.$$

5. Режим обрыва фазы А (этот режим совпадает с режимом обрыва фазы А с одновременным коротким замыканием) определяется однозначно, если критерии соотносятся как

$$1,253 \leq k_1 \leq 1,728; \quad 0,001 \leq k_2 \leq 0,002 \quad \text{и} \\ 1,254 \leq k_3 \leq 1,73.$$

6. Режим однофазного короткого замыкания А-0 и одновременного обрыва фазы А определяется однозначно, если критерии соотносятся как

$$1,251 \leq k_1 \leq 1,654; \quad 0,076 \leq k_2 \leq 0,095 \quad \text{и} \\ 1,332 \leq k_3 \leq 1,75.$$

Выводы. Таким образом, как при металлическом замыкании, так и при замыкании через переходное сопротивление предложенные три критерия (k_1 , k_2 , k_3) позволяют однозначно определить все виды аварийных режимов в сетях 0,38 кВ. Полученные результаты могут быть

использованы как при разработке специальных приборов определения вида и места АР, так и в качестве дополнительного вычислительного блока в существующих микропроцессорных устройствах защиты сетей 0,38 кВ, например в приборе СИРИУС-0,4 [6].

Литература

1. Аржанников Е.А., Чухин А.М. Методы и приборы определения мест повреждения на линиях электропередачи. – М.: Энергопресс, 1998. – 87 с.
2. Солдатов В.А., Чебесов Е.А. Расчет аварийных режимов сети 0,38 кВ // Актуальные проблемы науки в АПК: сб. ст. 67-й междунар. науч.-практ. конф. – Кострома, 2016. – Т.2. – С. 139–142.
3. Устройство определения места повреждения на воздушных линиях электропередачи «Сириус-2-ОМП». Руководство по эксплуатации. – М., 2012. – 64 с.
4. Солдатов В.А., Чебесов Е.А. Обобщенные интервалы для определения видов аварийных режимов фидеров 0,38 кВ при различных параметрах сети // Научное обозрение. – 2015. – № 1. – С. 82–85.
5. Солдатов В.А., Чебесов Е.А. Переходное сопротивление в месте замыкания для фидеров 0,38 кВ // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 3. – С. 50–52.
6. Микропроцессорное устройство защиты рабочего ввода для КТП 6(10)/04 кВ и щитов собственных нужд «Сириус-2-0,4»: руководство по эксплуатации. – М., 2012. – 104 с.

Literatura

1. Arzhannikov E.A., Chuhin A.M. Metody i pribory opredelenija mest povrezhdenija na linijah jelektroperedachi. – М.: Jenergopress, 1998. – 87 s.
2. Soldatov V.A., Chebesov E.A. Raschet avarijnyh rezhimov seti 0,38 kV // Aktual'nye problemy nauki v APK: sb. st. 67-j mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Kostroma, 2016. – Т.2. – S. 139–142.
3. Ustrojstvo opredelenija mesta povrezhdenija na vozdušnyh linijah jelektroperedachi «Siri-

- us-2-OMP». Rukovodstvo po jekspluatacii. – М., 2012. – 64 s.
4. Soldatov V.A., Chebesov E.A. Obobshhennye intervaly dlja opredelenija vidov avariynih rezhimov fiderov 0,38 kV pri razlichnyh parametroh seti // Nauchnoe obozrenie. – 2015. – № 1. – S. 82–85.
 5. Soldatov V.A., Chebesov E.A. Perehodnoe soprotivlenie v meste zamykanija dlja fiderov 0,38 kV // Vestnik KrasGAU. – 2015. – № 3. – S. 50–52.
 6. Mikroprocessornoe ustrojstvo zashhity rabocheho vvoda dlja KTP 6(10)/04 kV i shhitov sobstvennyh nuzhd «Sirius-2-0,4»: rukovodstvo po jekspluatacii. – М., 2012. – 104 s.



УДК 631.173.6(571.53)

**А.А. Гусев, М.К. Буряев,
А.В. Шустеев**

**К ОБОСНОВАНИЮ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА МАШИННО-ТРАКТОРНОГО
ПАРКА КРЕСТЬЯНСКО-ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ**

**A.A. Gusev, M.K. Buraev,
A.V. Shisteev**

**TO JUSTIFICATION OF TECHNICAL SERVICE OF MACHINE
AND TRACTOR FLEET OF THE COUNTRY FARMS**

Гусев А.А. – асп. каф. технического сервиса и общепромышленных дисциплин Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского, Иркутская обл., Иркутский р-н, п. Молодежный. E-mail: gysew.a.a@yandex.ru

Буряев М.К. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. технического сервиса и общепромышленных дисциплин Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского, Иркутская обл., Иркутский р-н, п. Молодежный. E-mail: buraev@mail.ru

Шустеев А.В. – канд. техн. наук, ассист. каф. технического сервиса и общепромышленных дисциплин Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского, Иркутская обл., Иркутский р-н, п. Молодежный. E-mail: drive-er@yandex.ru

Gusev A.A. – Post-Graduate Student, Chair of Technical Service and General Engineering Disciplines, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk Region, Irkutsk District, Settlement Molodyozhny. E-mail: gysew.a.a@yandex.ru

Buraev M.K. – Dr. Tech. Sci., Prof., Head, Chair of Technical Service and General Engineering Disciplines, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk Region, Irkutsk District, Settlement Molodyozhny. E-mail: buraev@mail.ru

Shisteev A.V. – Cand. Tech. Sci., Assist., Chair of Technical Service and General Engineering Disciplines, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk Region, Irkutsk District, Settlement Molodyozhny. E-mail: drive-er@yandex.ru

Среди основных производителей сельскохозяйственной продукции, крупных и средних сельхозпредприятий, крестьянские фермерские хозяйства (КФХ) занимают особое место. КФХ представляют собой объединения граждан, имеющих в общей собственности имущество и совместно осуществляющих производ-

ственную и иную хозяйственную деятельность (производство, переработку, хранение, транспортировку и реализацию сельскохозяйственной продукции), основанную на их личном участии (ст. 1 Федерального закона от 11 июня 2003 г. № 74-ФЗ «О крестьянском (фермерском) хозяйстве»). Наряду с фермерскими