

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ И ОСОБОЙ ФАЗЫ

Сендерович Г.А., к.т.н., с.н.с.

Харьковская национальная академия городского хозяйства,

Украина, 61002, Харьков, ул. Революции, 12, ХНАГХ, кафедра "Электроснабжение городов"

Тел. (057) 707-31-17, E-mail: elcity@ksame.kharkov.ua

*У статті розроблена методика автоматизації визначення місця ушкодження. Дано блок-схему аналізатора аварійного режиму, розроблено алгоритм автоматичного визначення виду короткого замикання та особливої фази.*

*В статті розроблена методика автоматизації визначення місця пошкодження. Дана блок-схема аналізатора аварійного режиму, розроблено алгоритм автоматичного визначення виду короткого замикання та особливої фази.*

Использование цифровых осциллографов, выполненных на базе ЭВМ, позволяет зафиксировать и сохранить информацию о мгновенных значениях токов и напряжений по трем фазам всех подходящих к подстанции линий. Разработанный в ХНАГХ фиксатор аварийных сигналов (ФАС) записывает токи и напряжения в течение 12,8 с, сохраняя в памяти их мгновенные значения для предаварийного и аварийного режимов. Дальнейшая обработка мгновенных значений, производимая анализатором сигналов аварийного режима (АНФАС), дает любой желаемый набор параметров режима в месте измерения, который может быть использован для решения ряда энергетических задач.

На основе применения АНФАС разработано устройство определения места повреждения в сети с эффективно заземленной нейтралью [1]. Оперативность получения результата является одной из важнейших задач работы устройства по определению места повреждения. Кроме того, желательно иметь возможность получения результата без привлечения высококвалифицированных специалистов. В связи с этим появляется необходимость разработки блока, обеспечивающего автоматизацию расчетов.

Отличие от известных приборов одностороннего определения места повреждения типа МИР, МФИ, ИМФ, выполненных на микропроцессорной базе [2], использование цифровых осциллографов позволяет производить анализ режимов по вторичным информативным параметрам, полученным после обработки мгновенных значений токов и напряжений в интервале анализа аварийного режима. При этом появляется возможность использовать критерии по определению вида КЗ и особой фазы, как совпадающие с используемыми в микропроцессорной технике, так и существенно отличающиеся от них. Так, в названных устройствах вид КЗ и особую фазу определяют по фазовым соотношениям векторов симметричных составляющих токов. Есть режимы работы сети, в которых эти критерии работают ложно. Для обеспечения надежности их работы приходится применять дополнительные меры. В частности, в некоторых работах предлагается коррекция угловых величин границ областей характерного расположения векторов [3], что

тоже не является гарантией правильного действия во всех аварийных режимах.

Целью статьи является разработка алгоритма действия блока автоматизации расчетов (БАР) и его функциональной связи с устройством АНФАС.

Блок автоматизации расчетов входит в состав анализатора фиксируемых аварийных сигналов АНФАС (рис. 1) и должен работать в трех режимах: автоматическом, полуавтоматическом, информационном.

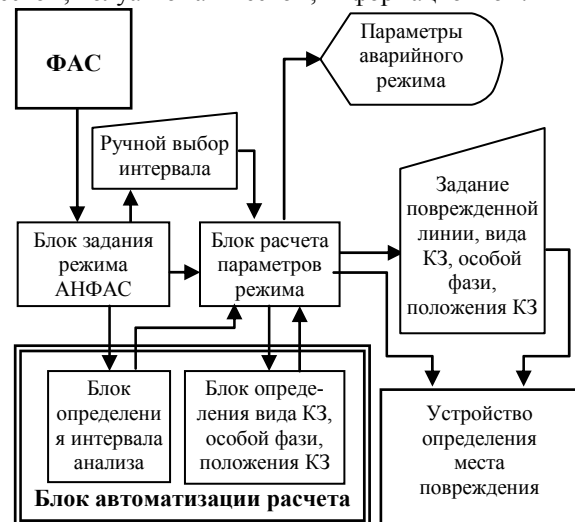


Рис. 1. Блок - схема анализатора фиксируемых аварийных сигналов (АНФАС)

**Автоматический режим** предназначен для обнаружения и указания вида КЗ, поврежденных фаз и расстояния до места КЗ непосредственно после отключения линии и без участия эксплуатационного персонала.

БАР должен запускаться по факту срабатывания релейной защиты и выполнять следующие функции в автоматическом режиме:

- выбор начального момента интервала анализа аварийного режима;
- определение вида КЗ;
- определение особой фазы;
- определение места положения КЗ.

**Полуавтоматический режим** рассчитан на квалифицированных специалистов энергетиков. В этом режиме оператор по осциллограммам токов и напря-

жений выполняет функции БАР. Полуавтоматический режим позволяет повысить точность определения места повреждения за счет квалифицированного выбора начала и продолжительности интервала анализа аварийного режима.

**Информационный режим** предназначен для получения информации по заданному пакету параметров режима для дальнейшего их использования по усмотрению оператора.

Основной частью АНФАС является блок расчета параметров режима, в котором формируются комплексные величины параметров режима, нужных для функционирования устройства определения места повреждения. Для этого необходимо выделить интервал анализа [4], определить вид короткого замыкания (КЗ), особую фазу, место положения КЗ. Эти функции выполняет БАР, который состоит из двух соответствующих блоков.

Для определения вида КЗ и особой фазы предлагается следующий алгоритм.

1. Производится проверка наличия КЗ по факту превышения действующим значением прямой последовательности тока хотя бы одной из фаз заданной уставки.

$$\left. \begin{aligned} A1 &:= I_{A1} > I_{уст.} \\ B1 &:= I_{B1} > I_{уст.} \\ C1 &:= I_{C1} > I_{уст.} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

В качестве уставки должна приниматься величина тока, для которой гарантированно превышение ее составляющей прямой последовательности минимального тока КЗ. В качестве первого приближения можно принять  $I_{уст.} = I_{TA}$  [2], где  $I_{номTA}$  - номинальный ток измерительных трансформаторов тока линии электропередачи. Использование токов прямой последовательности в отличие от фазных позволяет отстроиться от продольной несимметрии.

Условием подтверждения наличия КЗ есть дизъюнкция элементарных высказываний  $A1, B1, C1$ :

$$Y1 = A1 \vee B1 \vee C1 = 1. \quad (2)$$

При  $Y1 = 0$  фиксируется отсутствие КЗ на линии.

2. В случае выполнения условия (2) определяется наличие замыкания на землю.

При однофазных и двухфазных замыканиях на землю в сетях с эффективно заземленной нейтралью токи нулевой последовательности существенно превышают рабочие токи здоровых фаз [5]. Наличие замыкания на землю можно определить из условия превышения током нулевой последовательности в неповрежденной фазе. Для этого надо выяснить выполнение элементарных событий

$$\left. \begin{aligned} A2 &:= I_0 > I_a \\ B2 &:= I_0 > I_b \\ C2 &:= I_0 > I_c \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

дизъюнкция которых дает достаточное условие наличия КЗ на землю:

$$Y2 = A2 \vee B2 \vee C2 = 1. \quad (4)$$

Блок-схема алгоритма определения вида КЗ и особой фазы приведена на рис. 2.

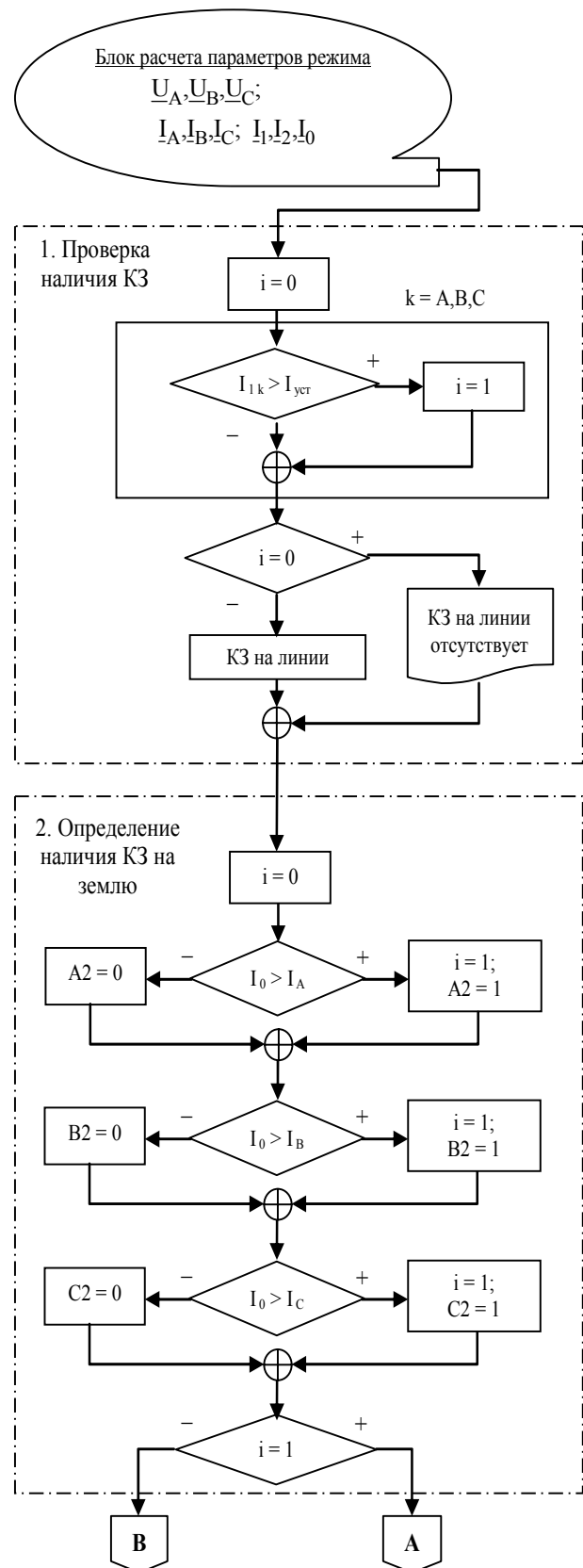


Рис.2. Блок-схема алгоритма определения вида КЗ

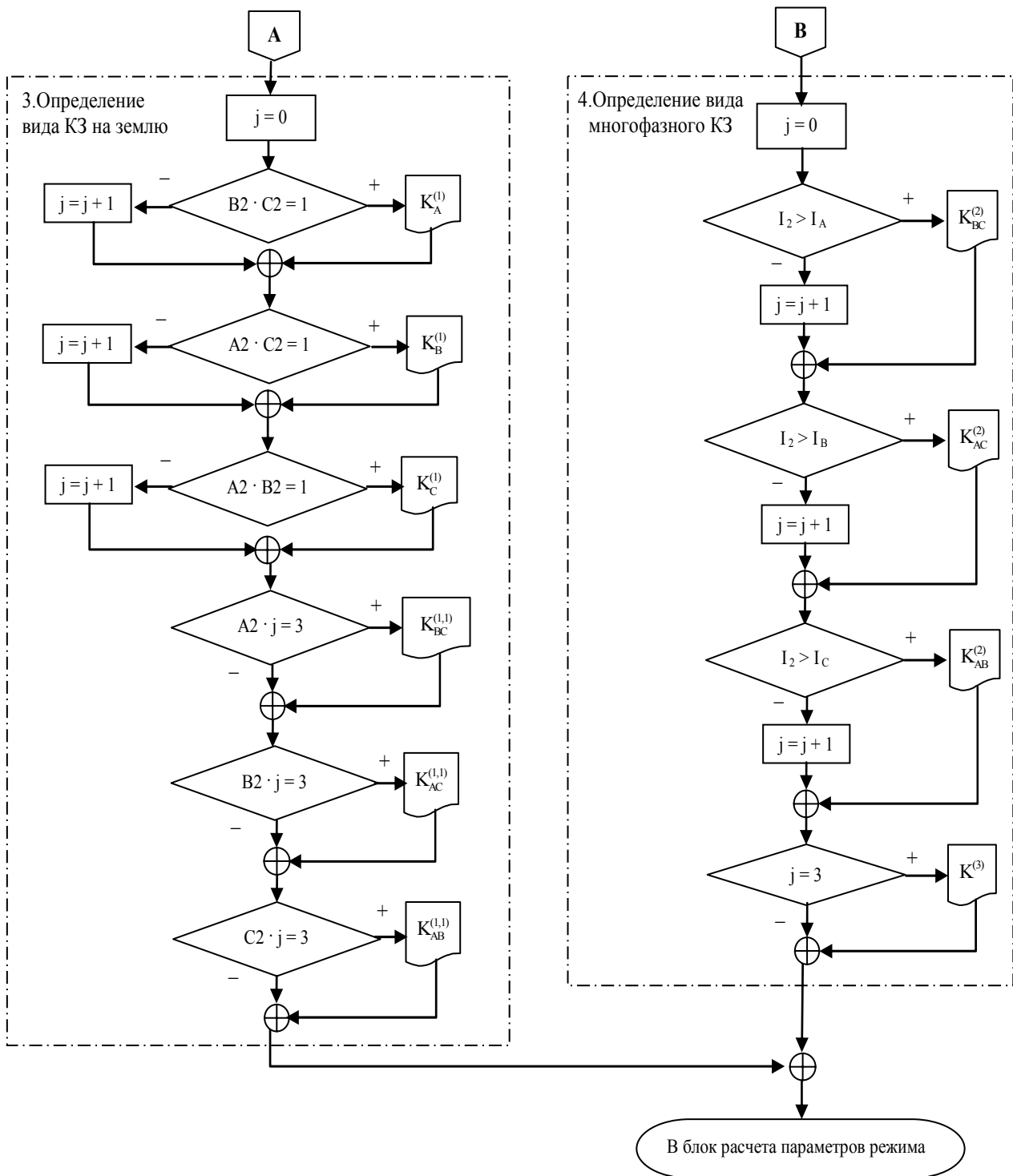


Рис.2. Блок-схема алгоритма определения вида КЗ (продолжение)

3. В случае выполнения условия (4), определяем вид КЗ на землю. Для этого учтем, что при однофазном замыкании ( $K^{(1)}$ ) неравенства (3) будут выполняться в двух фазах, а при двухфазном замыкании на землю ( $K^{(1,1)}$ ) - в одной фазе. Различить  $K^{(1)}$  и  $K^{(1,1)}$  можно, рассматривая три конъюнкционных уравнения:

$$\left. \begin{aligned} A3 &:= B2 \wedge C2; \\ B3 &:= A2 \wedge C2; \\ C3 &:= A2 \wedge B2. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Условием наличия однофазного является дизъюнкция событий  $A3, B3, C3$ :

$$Y3 = A3 \vee B3 \vee C3 = 1 \rightarrow K^{(1)}. \quad (6)$$

Полное условие должно учитывать, что при  $K^{(1)}$  неравенства (3) выполняются в двух фазах, а в третьей не выполняются:

$$(A3 \wedge \overline{A2}) \vee (B3 \wedge \overline{B2}) \vee (C3 \wedge \overline{C2}) \rightarrow K^{(1)}. \quad (7)$$

Определение поврежденной фазы при однофазном КЗ уже заложено в формулах (6), (7). Необходи-

мыми и достаточными условиями наличия однофазного КЗ в фазах  $A$  ( $K_A^{(1)}$ ),  $B$  ( $K_B^{(1)}$ ),  $C$  ( $K_C^{(1)}$ ) являются:

$$\left. \begin{aligned} (\overline{A2} \wedge B2 \wedge C2) \wedge (\overline{B2} \wedge A2 \wedge C2) \wedge (\overline{C2} \wedge A2 \wedge B2) &\rightarrow K_A^{(1)}; \\ (\overline{B2} \wedge A2 \wedge C2) \wedge (\overline{A2} \wedge B2 \wedge C2) \wedge (\overline{C2} \wedge A2 \wedge B2) &\rightarrow K_B^{(1)}; \\ (\overline{C2} \wedge A2 \wedge B2) \wedge (\overline{A2} \wedge B2 \wedge C2) \wedge (\overline{B2} \wedge A2 \wedge C2) &\rightarrow K_C^{(1)}. \end{aligned} \right\} (8)$$

Выражения (7) и (8) несут избыточную информацию, так как события событий  $A2$ ,  $B2$ ,  $C2$  не являются независимыми. При выполнении условия (4)  $Y2 = 1$ , для определения поврежденной фазы достаточно знать, как выполняются условия (5):

$$\left. \begin{aligned} B2 \wedge C2 &\rightarrow K_A^{(1)}; \\ A2 \wedge C2 &\rightarrow K_B^{(1)}; \\ A2 \wedge B2 &\rightarrow K_C^{(1)}. \end{aligned} \right\} (9)$$

С учетом (3):

$$\left. \begin{aligned} (I_0 \rangle I_B) \wedge (I_0 \rangle I_C) &\rightarrow K_A^{(1)}; \\ (I_0 \rangle I_A) \wedge (I_0 \rangle I_C) &\rightarrow K_B^{(1)}; \\ (I_0 \rangle I_A) \wedge (I_0 \rangle I_B) &\rightarrow K_C^{(1)}. \end{aligned} \right\} (10)$$

Если при наличии замыкания на землю ( $Y2 = 1$ ) уравнение (6) не выполняется, то имеет место двухфазное КЗ на землю. Условие наличия этого повреждения:

$$Y3 = A3 \vee B3 \vee C3 = 0 \rightarrow K^{(1,1)}. \quad (11)$$

В особой фазе при  $K^{(1,1)}$  будет выполняться одно из неравенств (3). Определение особой фазы можно описать следующими выражениями:

$$\left. \begin{aligned} I_0 \rangle I_A &\rightarrow A \left( K_{BC}^{(1,1)} \right); \\ I_0 \rangle I_B &\rightarrow B \left( K_{AC}^{(1,1)} \right); \\ I_0 \rangle I_C &\rightarrow C \left( K_{AB}^{(1,1)} \right). \end{aligned} \right\} (12)$$

4. В случае отсутствия замыкания на землю ( $Y2 = 0$ ) определяем вид междуфазного КЗ и особую фазу, если имеет место двухфазное КЗ ( $K^{(2)}$ ).

Проверку наличия несимметрии можно осуществлять по условию [2]:

$$Y4 := 6 \cdot I_2 \rangle I_1. \quad (13)$$

Выполнение условия (13) является признаком несимметрии. Двухфазное КЗ имеет место при:

$$Y4 = 1 \rightarrow K^{(2)}. \quad (14)$$

При двухфазном КЗ в неповрежденной фазе вектора токов прямой и обратной последовательностей имеют взаимный угол, превышающий  $180^\circ$  [4], в поврежденных фазах этот угол меньше  $180^\circ$ . Такая особенность дает признак особой фазы:

$$\left. \begin{aligned} I_2 \rangle I_A &\rightarrow A \left( K_{BC}^{(2)} \right); \\ I_2 \rangle I_B &\rightarrow B \left( K_{AC}^{(2)} \right); \\ I_2 \rangle I_C &\rightarrow C \left( K_{AB}^{(2)} \right). \end{aligned} \right\} (15)$$

Трехфазное КЗ будет в том случае, если условие (14) не выполняется:

$$Y4 = 0 \rightarrow K^{(3)}, \quad (16)$$

или не выполняется ни одно из неравенств (15):

$$Y5 = (I_2 \rangle I_A) \vee (I_2 \rangle I_B) \vee (I_2 \rangle I_C) = 0 \rightarrow K^{(3)}. \quad (17)$$

## ВЫВОДЫ

Использование анализатора сигналов аварийного режима (АНФАС), выполненного на базе ЭВМ, позволяет получить достаточно простые и надежные по сравнению с применяемыми в микропроцессорной технике алгоритмы автоматического определения вида короткого замыкания и особой фазы.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Автоматизированные методы и средства определения мест повреждения линий электропередачи: Уч. пособие / О.Г. Гриб, А.А. Светелик, Г.А. Сендерович, Д.Н. Калужный. Под общей редакцией О.Г. Гриба. – Харьков, 2003. – 146 с.
- [2] Алгоритмы функционирования и опыт эксплуатации микропроцессорных устройств определения мест повреждения линий электропередачи. / А.К. Белотелов, А.-С.С. Саухатас, А.И. Иванов, Д.Р. Любарский. - Электрические станции, 1997, №12, с. 7-12.
- [3] Совершенствование приборов одностороннего определения места повреждения на ВЛ. / А.Е. Аржаников, Е.А. Аржаников, М.Г. Марков, А.М. Чухин, - Электрические станции, 1998, №3, с. 43 - 46.
- [4] Седерович Г.А. Автоматизация расчетов по определению места повреждения линии электропередачи // Наукові праці Донецького Національного технічного університету. Серія "Електротехніка і енергетика". - Донецьк: ДонНТУ. - 2004. Випуск 79. - С. 175-178.
- [5] Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. - М., "Энергия", 1970, 520 с.

Поступила 10.02.2005