

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Сендерович Г.А.

Харьковская национальная академия городского хозяйства
elcity@ksame.kharkov.ua

This article is devoted to the working out of the block of automatization of calculations on determination of the place of the damage of the electricity transmission lines. The block provides the automatic choice of the interval of the analysis of parameters of emergency mode, defines the type and position of the short circuit, special phase. The result of the development is a programme product, which is intended for the device of the unilateral determination of the place of the damage of the air electricity transmission line 110 kV.

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.

Высокая информативность такого подхода по получению параметров аварийных режимов позволяет использовать новые алгоритмы для определения места повреждения [1], недоступные микропроцессорной технике. В тоже время, оперативность получения результата остается одной из важнейших задач работы устройства по определению места повреждения. Кроме того, желательно иметь возможность получения результата без привлечения высоко квалифицированных специалистов. В связи с этим появляется необходимость разработки блока, обеспечивающего автоматизацию расчетов.

Целью статьи является разработка принципов 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.

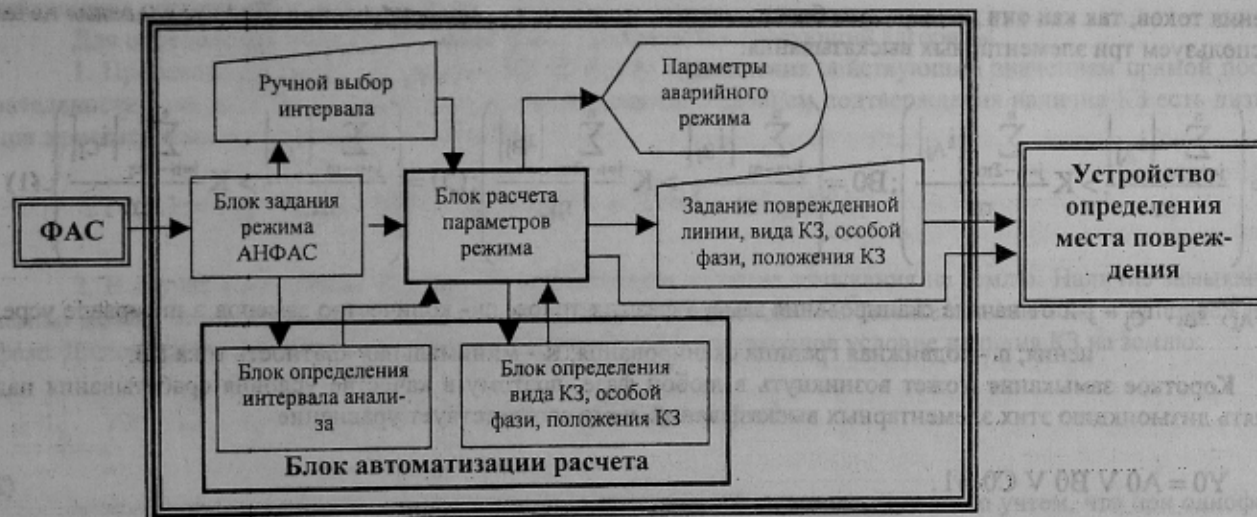


Рис.1 Блок-схема анализатора аварийного режима

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:

- 1) выбор начального момента интервала анализа аварийного режима;
- 2) определение вида КЗ;
- 3) определение особой фазы;
- 4) определение места положения КЗ.

Полуавтоматический режим рассчитан на квалифицированных специалистов энергетиков. В этом режиме оператор по осциллограммам токов и напряжений 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, определить вид короткого замыкания (КЗ), особую фазу, место положения КЗ. Эти функции выполняет БАР, который состоит из двух соответствующих блоков.

Для определения места повреждения необходимо выделить **интервал анализа аварийного режима**, характерный для установившегося короткого замыкания. В этом временном интервале будет произведен расчет усредненных для интервала действующих комплексных значений параметров режима.

Информация об аварийном режиме поступает от ФАС в виде дискретной записи мгновенных значений токов и напряжений с интервалом дискретности, а значит и количеством замеров за период, задаваемым блоком расчета параметров режима. Минимальная длительность интервала анализа аварийного режима определяется необходимой точностью преобразования дискретных значений мгновенных периодических величин в их действующие комплексные значения. Окончание интервала анализа должно происходить до момента срабатывания самой скоростной защиты, действие которой может повлиять на фиксируемые параметры режима.

Произвести привязку конца интервала анализа к моменту срабатывания защиты сложно, так как количественные изменения могут быть недостаточными для их использования в качестве признака изменения режима. Более надежной можно считать фиксацию момента начала короткого замыкания. В этот момент времени режим работы системы меняется качественно, что проявляется в сильном изменении большинства параметров режима.

Постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ в сетях 110 кВ обычно не превосходит величину $\tau_a = 0,01$ с, в сетях 330 кВ может достигать $\tau_a = 0,05$ с. Для отстройки по времени от апериодической составляющей тока КЗ придется сдвинуть начало интервала анализа на время $(5 - 6) \tau_a$. В сетях 110 кВ это время соизмеримо с временем срабатывания быстродействующих защит. В этих сетях интервал анализа параметров режима должен быть размещен с отстройкой его начала на 0,05 - 0,06 с момента начала КЗ и окончанием до момента срабатывания защиты. В сети 330 кВ вообще нет возможности выполнить условия по отстройке начала интервала на 0,25 - 0,3 с от начала КЗ. Для исключения апериодической составляющей тока КЗ требуется использование полосовых фильтров основной гармонической составляющей. Выделение первой гармоники необходимо также для отстройки от высших гармоник, которые могут внести существенные погрешности при замыканиях через дугу.

В качестве информативных параметров для определения начала КЗ целесообразно выбирать мгновенные значения токов, так как они подвержены более сильным изменениям, чем напряжения. Для определения начала КЗ используем три элементарных высказывания:

$$A0 = \left(\frac{\sum_{j=n-m}^n |i_{Aj}|}{m} > K \frac{\sum_{j=n-2m}^n |i_{Aj}|}{m} \right); B0 = \left(\frac{\sum_{j=n-m}^n |i_{Bj}|}{m} > K \frac{\sum_{j=n-2m}^n |i_{Bj}|}{m} \right); C0 = \left(\frac{\sum_{j=n-m}^n |i_{Cj}|}{m} > K \frac{\sum_{j=n-2m}^n |i_{Cj}|}{m} \right). \quad (1)$$

где i_{Aj} , i_{Bj} , i_{Cj} - j -й от начала сканирования замера фазных токов; m - количество замеров в интервале усреднения; n - подвижная граница сканирования; K - минимальная кратность тока КЗ.

Короткое замыкание может возникнуть в любой фазе, поэтому в качестве условия срабатывания надо принять дизъюнкцию этих элементарных высказываний, чему соответствует уравнение

$$Y0 = A0 \vee B0 \vee C0 = 1. \quad (2)$$

Условие (2) означает, что начало КЗ фиксируется по факту превышения в K раз хотя бы в одной фазе среднего тока в интервале усреднения от замера " $n - m$ " до замера " n " над током в интервале от замера " $n - 2m$ " до замера " $n - m$ ".

Длительность интервала анализа мгновенных периодических величин желательно максимально увеличить, так как чем она больше, тем выше точность преобразования значений дискретных измерений мгновенных величин в комплексные числа. С другой стороны, длительность интервала ограничена условиями прохождения переходного процесса, прежде всего апериодической составляющей, и временем срабатывания релейной защиты. Чем меньше интервал измерений, тем с большей точностью его можно разместить на временном участке установившегося короткого замыкания. В связи с этим возникает потребность определения минимально возможного интервала измерений. Рассмотрим зависимость погрешностей расчета комплексных величин от длительности интервала анализа дискретных замеров их мгновенных значений.

В качестве действующего или эффективного значения тока (напряжения) в электротехнике принимают его среднеквадратичное значение за период:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (3)$$

В силу того, что информация в ФАС записана в дискретной форме, расчет по формуле (3) должен производиться по одному из методов приближенного вычисления определенных интегралов [3]. Выражение (3) для N точек измерения, записанное через формулу прямоугольников, можно представить в следующем виде:

$$I = I_m \cdot \sqrt{\frac{1}{k \cdot M} \cdot \sum_{i=1}^{k \cdot M} \sin^2 \left(\frac{2 \cdot \pi}{M} + \varphi_0 \right)}, \quad (4)$$

где i - номер измерения; φ_0 - начальная фаза измерения; M - количество точек замера за период гармонического сигнала; $k = N / M$

Относительная погрешность вычисления действующего значения гармонической функции будет определяться в зависимости от кратности k из выражения:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{k \cdot M} \cdot \sum_{i=1}^{k \cdot M} \sin^2 \left(\frac{2 \cdot \pi}{M} + \varphi_0 \right)} - 1. \quad (5)$$

По формуле (5) выполнены расчеты погрешности в зависимости от кратности k . Погрешность имеет периодический затухающий характер. С кратностью половина периода ($T / 2$) методическая погрешность $\delta = 0$.

Назначением другого блока БАР является определение вида КЗ, особой фазы, места положения КЗ. В отличие от известных приборов одностороннего определения места повреждения типа МИР, МФИ, ИМФ, выполненных на микропроцессорной базе [4], использование цифровых осциллографов, в частности ФАС, 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. Эти критерии в ряде случаев работают ложно. В связи с этим в некоторых работах предлагается коррекция угловых величин границ областей характерного расположения векторов [5], что тоже не является гарантией правильного действия во всех аварийных режимах.

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

$$Y1 = (A1 := I_{A1} > I_{уст}) \vee (B1 := I_{B1} > I_{уст}) \vee (C1 := I_{C1} > I_{уст}) = 1. \quad (6)$$

2. В случае выполнения условия (6) определяется наличие замыкания на землю. Наличие замыкания на землю можно определить из условия превышения током нулевой последовательности тока в неповрежденной фазе. Дизъюнкция элементарных событий $A2, B2, C2$ дает достаточное условие наличия КЗ на землю:

$$Y2 = (A2 := I_0 > I_a) \vee (B2 := I_0 > I_b) \vee (C2 := I_0 > I_c) = 1. \quad (7)$$

3. В случае выполнения условия (7), определяем вид КЗ на землю. Для этого учтем, что при однофазном замыкании ($K^{(1)}$) условие превышения током нулевой последовательности полного тока в фазе будет 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:

$$A3 := B2 \wedge C2; B3 := A2 \wedge C2; C3 := A2 \wedge B2. \quad (8)$$

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

$$Y3 = A3 \vee B3 \vee C3 = 1 \rightarrow K^{(1)}. \quad (9)$$

При выполнении условия (7) $Y2 = 1$, для определения поврежденной фазы достаточно знать, как выполняются условия (8):

$$B2 \wedge C2 \rightarrow K_A^{(1)}; A2 \wedge C2 \rightarrow K_B^{(1)}; A2 \wedge B2 \rightarrow K_C^{(1)}. \quad (10)$$

Если при наличии замыкания на землю ($Y2 = 1$) уравнение (9) 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 (7). Определение особой фазы можно описать следующими выражениями:

$$I_0 > I_A \rightarrow A(K_{BC}^{(1,1)}); I_0 > I_B \rightarrow B(K_{AC}^{(1,1)}); I_0 > I_C \rightarrow C(K_{AB}^{(1,1)}). \quad (12)$$

Выполнение условия (12) является признаком двухфазного КЗ ($K^{(2)}$):

$$Y4 = 1 \rightarrow K^{(2)}. \quad (13)$$

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

$$I_2 > I_A \rightarrow A(K_{BC}^{(2)}); I_2 > I_B \rightarrow B(K_{AC}^{(2)}); I_2 > I_C \rightarrow C(K_{AB}^{(2)}). \quad (14)$$

Трехфазное КЗ будет в том случае, если условие (13) не выполняется:

$$Y4 = 0 \rightarrow K(3). \quad (15)$$

Под положением КЗ в БАР подразумевается место нахождения повреждения: со стороны линии, либо «за спиной». Положение КЗ определяется по углу φ_1 между напряжением и током прямой последовательности. Если $\varphi_1 < \pi$, то КЗ находится со стороны линии. При $\varphi_1 > \pi$ – «за спиной».

Выводы:

1. Разработан блок автоматизации расчетов по определению места повреждения. Блок обеспечивает автоматический выбор интервала анализа параметров аварийного режима, определяет вид и положение КЗ, особую фазу.

2. Проведена минимизация интервала анализа параметров режима. Анализ методических погрешностей расчета действующих величин показал: общий уровень погрешностей уменьшается с увеличением длительности интервала; методическая погрешность $\delta = 0$ при продолжительности расчета кратной половине периода ($nT/2$), где $n = 1, 2, 3 \dots$;

Перспективы исследований в области автоматизации расчетов по определению места повреждения линии электропередачи видятся, во-первых, в более глубоком анализе погрешностей и оптимизации интервала анализа параметров режима, во-вторых, в применении БАР для определения места повреждения при двусторонних измерениях параметров режимов линии электропередачи.

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. Программирование и алгоритмические языки. / Н.А. Криницкий, Г.А. Миронов, Г.Д. Фролов. - М. Наука, 1979, 512 с.
3. Смирнов В.И. Курс высшей математики. Т.1. - М. "Наука", 1965, 480 с.
4. 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.
5. 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.

Рекомендовано до друку д.т.н. проф. Сивокобиленко В.Ф.