

УДК 621.316.925

АЛГОРИТМ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, КОНТРОЛИРУЮЩЕЙ ПАРАМЕТРЫ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Ахмедова О.О.

Камышинский технологический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета (опорный университет), Камышин, e-mail: Ahmedova-olga@mail.ru

Система микропроцессорной защиты предназначена для выполнения функций релейной защиты и противоаварийной автоматики, управления, сигнализации для энергетических объектов. Устройство формирует управляющее воздействие для схем вторичной коммутации при реализации функций защит и автоматики, в зависимости от первичных параметров контролируемой системы. Устройства релейной защиты и автоматики совершенствуются, становясь все более интеллектуальными, представляя собой не просто устройство отключения поврежденного элемента системы, а релейная защита в целом представляет собой науку о распознавания аварийных ситуаций. Хотя до сих пор многие вопросы интеллектуальных устройств релейной защиты до конца не проработаны, такие как определение места аварии при сложном виде повреждения, нахождение новых алгоритмов функционирования, новых методов адаптации и т.д. Кроме того, в зависимости от графика нагрузок потребителей электрической энергии, значение рабочего тока, проходящего по линиям электропередачи изменяется не только сезонно, но в течение суток несколько раз, что показывает некорректность применения уставки тока срабатывания, никак на взаимодействующей с параметрами электрической сети. В результате уставка срабатывания, выставленная на устройствах микропроцессорных реле защиты, не всегда является корректной и может привести к отказу действия релейной защиты либо к ложному срабатыванию.

Ключевые слова: релейная защита, алгоритм, воздушная линия электропередачи, коэффициент чувствительности

ALGORITHM AND MATHEMATICAL MODEL OF THE MULTIPLE PARAMETER MANAGING DIRECTOR OF SYSTEM OF THE RELAY PROTECTION CONTROLLING ELECTRICITY TRANSMISSION AIR-LINE PARAMETERS

Akhmedova O.O.

Kamyshin Institute Of Technology (Branch) of the Volgograd State Technical University (basic university), Kamyshin, e-mail: Ahmedova-olga@mail.ru

The system of microprocessor protection is intended for execution of functions of relay protection and antiabnormal automatic equipment, control, a signaling for energetic objects. The device creates the controlling influence for diagrams of secondary switching in case of implementation of functions of protection and automatic equipment, depending on primary parameters of controlled system. Devices of relay protection and automatic equipment are enhanced, becoming more and more intellectual, representing not simply the device of switch-off of the damaged element of system, and relay protection in general represents science about recognitions of alert conditions. Though still many issues of intelligent devices of relay protection are up to the end not handled, such as, determination of the place of accident in case of a difficult type of damage, finding of new algorithms of functioning, new methods of adaptation, etc. Besides, depending on the diagram of loadings of customers of electrical energy, the value of the working current passing on power lines changes not only seasonally, but within a day several times that shows incorrectness of application of a setting of current of actuating on the electrical network interacting with parameters in any way. As a result the actuating setting exposed on devices of microprocessor relays of protection not always is incorrect and can lead to a failure of action of relay protection or to false operation.

Keywords: relay protection, algorithm, electricity transmission air-line, sensitivity coefficient

В цифровых терминалах устройств релейной защиты и автоматики максимальная токовая защита (МТЗ) выполняет следующие функции:

1. МТЗ от междуфазных коротких замыканий.

2. МТЗ от коротких замыканий на землю.

Микропроцессорная токовая защита снабжается четырьмя ступенями, отстроенными селективно относительно друг друга. Как правило, последняя из ступеней

защит, и от междуфазных, и от повреждений на землю, выполняется либо с зависимой либо с независимой характеристикой срабатывания.

Резервная МТЗ может выполняться ненаправленного или направленного воздействия. На радиальных и магистральных линиях электропередачи с одним источником питания используется ненаправленная максимальная токовая защита от любых видов повреждений [1].

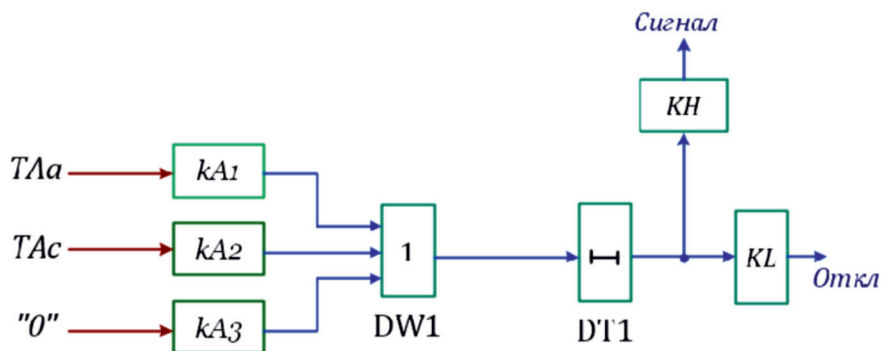


Рис. 1. Принцип действия МТЗ, основанный на логических элементах: DW – элемент, выполняющий логическую функцию «ИЛИ», DT – осуществляет необходимую задержку по времени, в целях обеспечения требования селективности защиты, KL – промежуточный элемент; KH – указательный элемент

МТЗ производит сравнение заданного тока уставки с проходящим током повреждения на линии электропередачи, если ток повреждения превышает заданное значение, то максимальная токовая защита фиксирует увеличение и по истечении установленной задержки по времени формирует воздействие.

Реле тока $KA1$, $KA2$, $KA3$ подключены к соответствующим трансформаторам тока и контролируют получаемые от ТТ вторичные значения тока в линии, являющиеся стандартными при отсутствии повреждений в сети, следовательно, реле тока формируют нулевой сигнал и находятся в режиме ожидания. При возникновении короткого замыкания происходит резкое увеличение тока в линии и, как следствие, увеличение вторичного тока ТТ, в данной ситуации токовые реле срабатывают, формируя на выходе единичный сигнал [2].

Срабатывания максимальной токовой защиты можно записать при помощи логических элементов

$$T = (KA1 \langle \text{ИЛИ} \rangle KA2 \langle \text{ИЛИ} \rangle KA3) \langle \text{И} \rangle DT1 \uparrow = I,$$

где $KA1$, $KA2$, $KA3$ – измерительные органы, на выходах которых формируются непрерывные логические сигналы; $DT1 \uparrow$ – оператор выдержки времени.

Согласно методическим указаниям по расчёту и выбору параметров настройки (уставок) микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики для воздушных с односторонним питанием напряжением 110–330 кВ, разработанные ОАО «ФСК ЕЭС» при выборе уставок резервной защиты следует руководствоваться следующими условиями [2, 3]:

1. Отстраивать ток срабатывания защиты от максимального рабочего тока линии электропередачи:

$$I_{сз} = \frac{k_3 \cdot k_{сзп}}{k_B} \cdot I_{раб.макс}, \quad (1)$$

где $k_3 = 1,1 \div 1,2$ – коэффициент запаса, $k_B = 0,95$ – коэффициент возврата защиты, $I_{раб.макс}$ – максимальный ток нагрузки линии, $k_{сзп} \approx 1,5 \div 2,0$ – приблизительное значение коэффициента самозапуска, выбирается исходя из мощности и количества электродвигателей [2, 4].

2. Отстраивать от предыдущих ступеней защит (смежных участков): дифференциальных (максимальных токовых защит), токовых защит нулевой последовательно для транзитных линий:

$$I_{сз} = k_{отс} \cdot I_{к.з.макс}, \quad (2)$$

где $k_{отс} = 1,2 \div 1,3$ – коэффициент согласования, $I_{к.з.макс}$ – максимальный ток короткого замыкания при повреждении в конце защищаемого участка, от которого производится отстройка. При расчете максимального тока короткого замыкания $I_{к.з.макс}$ в формуле (1), необходимо так же учесть рабочий ток нагрузки линии:

$$I_{к.з.макс} = I_{кз.пред} \cdot \sum I_{раб.макс(N-n)}, \quad (3)$$

где $I_{кз.пред}$ – ток короткого замыкания линии в конце защищаемого участка, от которого производится отстройка, выбирается наибольшее значение из всех подключенных линий, $\sum I_{раб.макс(N-n)}$ – максимальное значение рабочего тока линии электропередачи, за исключением нагрузки присоединения, от защиты которого производится отстройка.

3. Отстраивать от максимального рабочего тока при трехфазном коротком замыкании и замыкании на землю на низкой и средней сторонах трансформатора, подключенных на всех ответвлениях защищаемой линии электропередачи, или на низкой

и средней сторонах трансформатора, подключенных к шинам подстанции на противоположном конце защищаемой линии и всех ее ответвлениях:

$$I_{сз} = k_{отс} \cdot I_{к.макс.тр}, \quad (4)$$

где $k_{отс} = 1,2 \div 1,3$ – коэффициент отстройки, $I_{к.макс.тр}$ – максимальный рабочий ток, проходящий по линии электропередачи при трехфазном и однофазном коротком замыкании на шинах подстанции на низкой и средней сторонах трансформатора, подключенных на всех ответвлениях или на шинах подстанции противоположного конца защищаемой линии.

4. Отстраивать броска тока намагничивания трансформатора или автотрансформатора, если можно включить СТ и АТ под напряжение на защищаемую линию электропередачи:

$$I_{сз} = (4 \div 5) \cdot I_{\Sigma_{ном.тр}}, \quad (5)$$

где $I_{\Sigma_{ном.тр}} = \frac{S_{\Sigma_{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$ – суммарное значение номинального тока подключенных трансформаторов или автотрансформаторов, $S_{\Sigma_{ном.тр}}$ – суммарное значение номинальной мощности подключенных трансформаторов или автотрансформаторов, $U_{ном}$ – среднее номинальное напряжение сети.

5. Если линия электропередачи с ответвлениями, то первая ступень отстраивается от тока трехфазного короткого замыкания от двигателей подключенных к ответвлениям, при кз за шинами подстанции, на которую устанавливается релейная защита.

$$I_{сз} = k_{отс} \cdot I_{к.отвл.ВЛ}, \quad (6)$$

где $k_{отс} = 1,25$ – коэффициент отстройки, $I_{к.отвл.ВЛ}$ – суммарное значение встречного тока на ответвлениях линий электропередачи, который проходит по месту установки релейной защиты при трехфазном коротком замыкании на шинах подстанции.

К установке на защите принимается наибольшее значение тока срабатывания защиты рассчитанных исходя из условий выбора уставки срабатывания в пунктах 1–5.

Для тупиковой линии электропередачи без ответвлений ток срабатывания резервной защиты выбирается исходя из условия 1, зависящего от максимального рабочего тока. ВЛЭП и ТП во многих областях России были построены в 1950–1960-х гг., когда было значительное потребление электрической энергии за счет работающих мощных промышленных предприятий. На данный момент, в связи с экономической ситуацией в стране предприятия сократили

потребление электроэнергии как минимум в два раза, соответственно, трансформаторы, установленные на трансформаторных подстанциях, работают в недогруженном режиме, уменьшились потоки мощности и значение тока в ВЛЭП. Для определения тока срабатывания максимальной токовой защиты производится отстройка от максимального рабочего тока в линии, который находится суммированием номинальных токов подключенных силовых трансформаторов к данной линии (7)

$$I_{раб.макс} = \frac{S_{\Sigma_{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (7)$$

где $S_{\Sigma_{ном.тр}}$ – суммарное значение номинальной мощности подключенных трансформаторов или автотрансформаторов, $U_{ном}$ – среднее номинальное напряжение сети [5].

При определении уставки МТЗ исходя из мощности силовых трансформаторов установленных на ТП, получим по формулам (1, 7) рабочий ток и ток срабатывания резервной защиты [6]. Данные значения далеки от реальных, поэтому при расчетах используют не значение мощности силовых трансформаторов, а значение заявленной потребляемой нагрузки, изменение в показателях составляет более 50%. Кроме того значение потребляемой предприятиями мощности и как следствие, силы тока в ВЛЭП изменяется в течение суток и зависит от сезона.

На рис. 2, 3 представлены изменения значения силы тока в летний и зимний периоды, замер данного параметра производился каждый час режимного дня (ремонтные работы и переключения в режимный день не производятся).

Сила рабочего тока, протекающего в линии, изменяется, при учете максимального и минимального значения при замерах в течение суток в 9 раз в летний период и в 22 раза в зимний.

Следовательно, при использовании постоянной уставки срабатывания, резервная защита в часы минимума потребляемой мощности откажет в действии, так как ток повреждения будет меньше установленного тока срабатывания защиты. При условии, что на тупиковых линиях предусматривается лишь двухступенчатая защита (основная – быстродействующая токовая отсечка и резервная – максимальная токовая защита с выдержкой времени), то при повреждении в «мертвой зоне» основной защиты она откажет в срабатывании и резервная не отключит поврежденную линию, так как уставка

рассчитана без учета реальных токов, проходящих по ЛЭП, в результате произойдет не селективное отключение предыдущего выключателя на неповрежденной линии более высокого напряжения, оставляя без электроснабжения рабочие линии.

Поэтому предлагается при определении тока срабатывания резервной защиты использовать реальные значения токов, протекающих в данный момент по линии электропередачи, полученные от датчиков тока, установленных в месте расположения защиты.

Алгоритм функционирования резервной защиты с адаптивной уставкой представлен на рис. 4.

Датчики тока устанавливаются на воздушной линии электропередачи, на каждой фазе в начале линии в месте расположения резервной защиты. Данные от датчиков непрерывно передаются устройству релейной защиты с интервалом 0,1 с. Устройство защиты производит сравнение параметров, полученных с каждой фазы, и выбирает большее из них значение и производит его

запоминание. По сохраненному максимальному рабочему току рассчитывается уставка срабатывания максимальной токовой защиты. Далее анализируются данные, полученные от трансформаторов тока, установленных на фазах, при увеличении вторичного тока хотя бы на одном из них выше номинального значения (5 А) производится сравнение рассчитанного тока срабатывания с рабочим максимальным током и фиксируется вид повреждения. Затем запускается установленная для данной ступени задержка по времени, по истечении которой если значение тока рабочего максимального не уменьшится, т.е. условие $I_p > I_{сз}$ будет выполняться, устройство релейной защиты подаст сигнал на отключения выключателя.

Контроль вторичных параметров трансформаторов тока позволяет не только определить вид повреждения, но и избежать ложного срабатывания резервной защиты при запуске двигателей, следствием чего является увеличение рабочих токов в несколько раз, оперируя корректной информацией о ситуации на ВЛ.

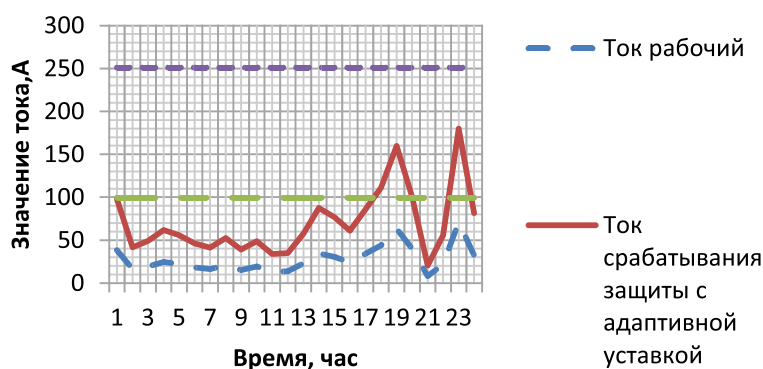


Рис. 2. Изменение рабочего тока в линии электропередачи, замер выполнялся в режимный день в летний период

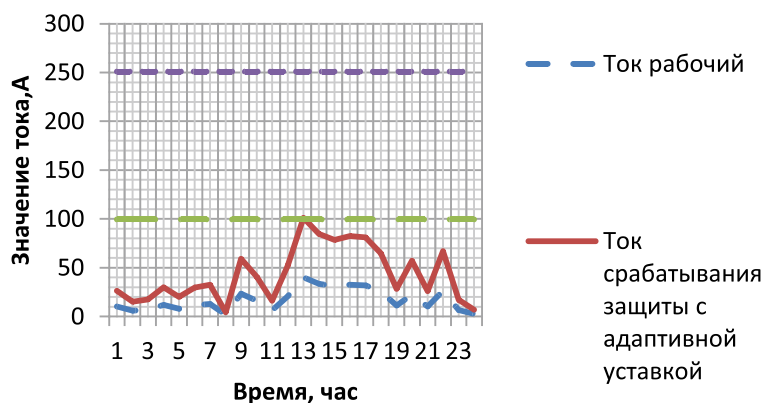


Рис. 3. Изменение рабочего тока в линии электропередачи, замер выполнялся в режимный день в зимний период

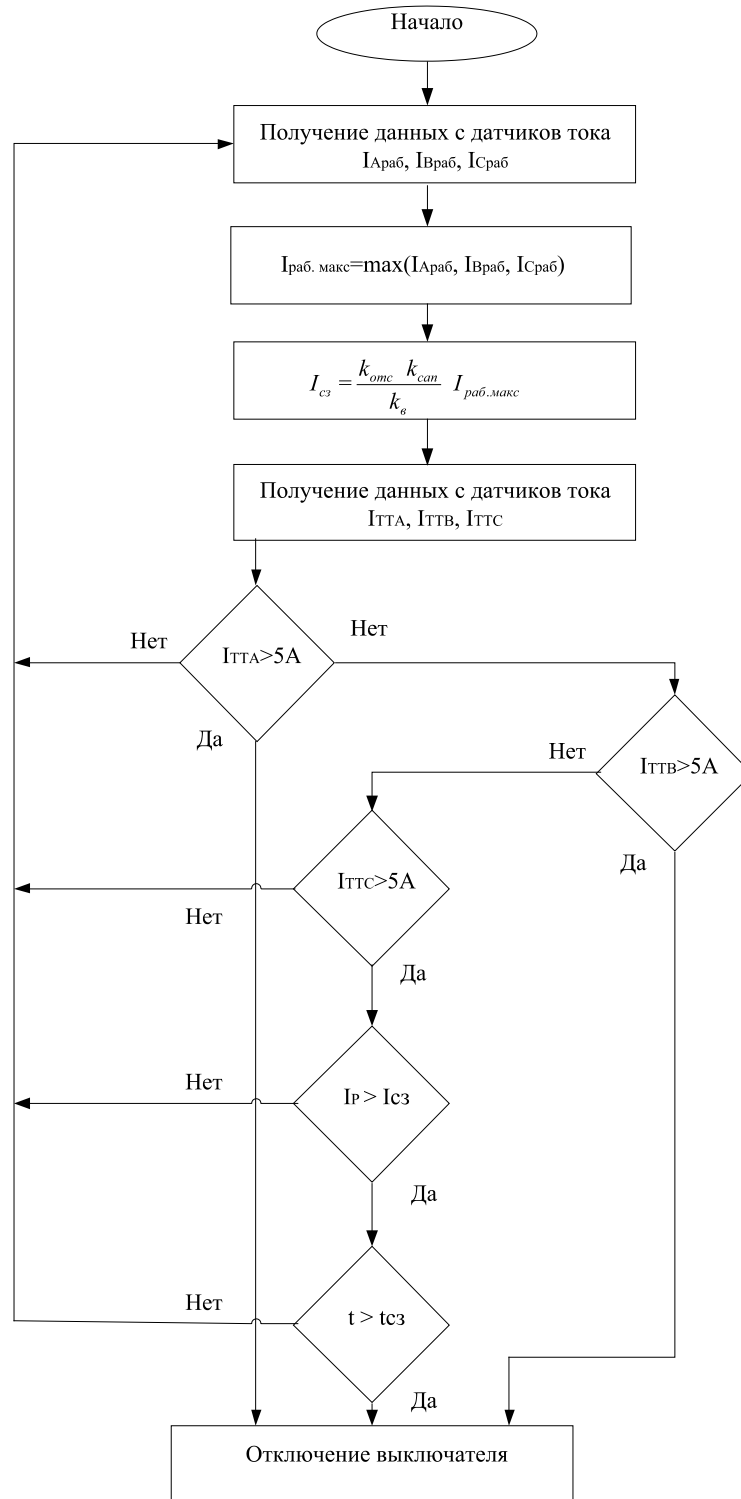


Рис. 4. Алгоритм функционирования резервной защиты с адаптивной уставкой

Резервные защиты (МТЗ) отстраиваются от рабочего тока, который определяется исходя из мощности подключенных к ВЛ силовых трансформаторов, в реальных условиях эксплуатации ВЛЭП нагрузочный ток

значительно меньше расчетного, из-за малой мощности потребителей, в результате отстроенная таким образом защита не распознает аварийный режим. Предложен алгоритм функционирования, основанный на получении

нии данных от датчиков тока, установленных на ВЛ, расчет тока уставки производится программным обеспечением, учитывая суточные колебания тока, изменение потоков мощности и сравнивая ток, проходящий по устройству, с заранее корректно определенной величиной в режиме реального времени.

Резервные защиты (МТЗ) отстраиваются от рабочего тока, который определяется исходя из мощности подключенных к ВЛ силовых трансформаторов, в реальных условиях эксплуатации ВЛЭП нагрузочный ток значительно меньше расчетного, из-за малой мощности потребителей, в результате отстроенная таким образом защита не распознает аварийный режим. Предложен алгоритм функционирования, основанный на получении данных от датчиков тока, установленных на ВЛ, расчет тока уставки производится программным обеспечением, учитывая суточные колебания тока, изменение потоков мощности и сравнивая ток проходящий по устройству с заранее корректно определенной величиной в режиме реального времени.

Список литературы

1. Кужеков С.Л., Оклей П.И., Нудельман Г.С. Анализ совокупности требований к релейной защите с целью оценки ее эффективности // Электрические станции. 2010. № 2. С. 43–48.
2. Методические указания по расчёту и выбору параметров настройки (уставок) микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики производства ООО НПП «ЭКРА», «ABB», «GE MULTILIN» И «ALSTOM GRID»/«AREVA» для воздушных и кабельных линий с односторонним питанием напряжением 110 330 кВ // Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.120.70.200-2015.
3. Лачугин В.Ф., Панфилов Д.И., Куликов А.Л., Рывкин А.А., Обалин М.Д. Принципы построения интеллектуальной релейной защиты электрических сетей // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2015. № 4. С. 28–37.
4. Крючков И.П., Старшинов В.А., Гусев Ю.П., Пираторов М.В. Переходные процессы в электроэнергетических системах: учебник для вузов / Под ред. И.П. Крючкова. М.: Издательский дом МЭИ, 2008 416 с.
5. Нагай В.И. Релейная защита ответственных подстанций электрических сетей. М.: Энергоатомиздат, 2012. 334 с.
6. Лямец Ю.Я., Нудельман Г.С., Зиновьев Д.В., Кержачев Д.В., Романов Ю.В. Многомерная релейная защита. Ч. 3. Эквивалентирование моделей // Электричество. 2010. № 1. С. 9–15.