

## АДАПТИВНЫЕ ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ 6–10 КВ И ОПЫТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

*В.Ф. Бухтояров*

*г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет*

## ADAPTIVE CURRENT PROTECTION FROM GROUND SHORT-CIRCUITS IN ELECTRIC INSTALLATIONS 6–10 KW AND THE EXPERIENCE OF ITS APPLICATION

*V.F. Bukhtoyarov*

*Chelyabinsk, South Ural State University*

Рассматриваются алгоритмы функционирования и структуры отдельных устройств централизованной и управляемой токовой защиты от замыканий на землю в сетях 6–10 кВ и результаты их опытной эксплуатации.

*Ключевые слова:* распределительные сети 6–10 кВ, токовые защиты от замыканий на землю, адаптация защит.

Algorithms of functioning and structures of separate machines of central and driven current protection from ground short circuits in networks of 6–10kW and the results of their experimental application are considered.

*Keywords:* distributing mains 6–10 kW, current protection from ground short-circuits, protection adaptation.

Наибольшее количество однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) имеет место в сетях, питающих передвижные электроустановки карьеров, разрезов, торфоразработок и т. п. В этих сетях защита от ОЗЗ должна быть селективной и действовать на отключение поврежденного присоединения без выдержки времени [2]. Одновременно должна выполняться резервная защита, работающая на отключение источника питания сети с выдержкой времени порядка 0,5 с.

Исследования показывают [1], что карьерные распределительные сети (КРС) являются нестационарными динамическими системами с изменяющимися во времени и пространстве структурой, параметрами и факторами, с рядом специфических особенностей:

- наличие большого количества индуктивных трансформаторов напряжения нулевой последовательности (ТННП) с заземленной первичной обмоткой, оказывающих компенсирующее влияние на величину и фазу полного тока ОЗЗ;
- высокая частота коммутаций в сети и пусков электродвигателей экскаваторов и других машин и механизмов, обуславливающих появление значительных сигналов небаланса и помех на выходах трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТНП);
- использование в сетях ТННП и ТТНП, имеющих значительные погрешности;

- большой разброс величин собственных емкостных токов отдельных линий;
- возможность нахождения в работе одной линии или минимального количества экскаваторных кабелей с наибольшим емкостным током;
- возможность возникновения в сети кратковременных субгармонических колебаний напряжения и токов нулевой последовательности.

Многолетний опыт применения наиболее распространенных устройств токовой ненаправленной и токовой направленной защит (РЗН-3, ЗЗП-1, РТЗ-50, РТЗ-51 и др.) в КРС сетях 6–10 кВ свидетельствует о недостаточной эффективности их функционирования. Они могут либо неправильно срабатывать, либо отказывать в срабатывании [1]. Доля неправильных срабатываний при использовании, например, реле защиты типа РЗН-3 и ЗЗП-1, достигает в отдельных сетях 50–60 %, а удельный вес отказов – более 20 %.

Одна из основных причин недостаточной надежности и эффективности функционирования применяемой в сетях с нестационарными электроустановками разновидности защит – построение их на принципах, при которых не обеспечивается адаптивность основных свойств защиты к различным видам и режимам ОЗЗ, а также к изменениям конфигурации сети.

Как установлено исследованиями и многолетним опытом эксплуатации, более совершенными и перспективными видами токовых защит от ОЗЗ в сетях 6–

10 кВ с изменяющимися параметрами являются централизованные и управляемые защиты, реагирующие на наибольший ток ОЗЗ, и их разновидности.

Известные централизованные защиты (ЦЗ) от ОЗЗ основаны на принципе сравнения токов нулевой последовательности поврежденного и неповрежденных присоединений. При этом могут сравниваться амплитудные, действующие и средние значения следующих токов: переходных, установившихся, высших гармонических составляющих, наложенных с частотой, отличной от промышленной.

Обычно сравнивают не сами токи, а напряжения, пропорциональные им. В зависимости от вида используемых составляющих сравниваемых токов централизованные защиты могут применяться в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью.

Алгоритм функционирования ЦЗ от ОЗЗ можно записать в виде [1]:

$$y_j = (x_j \geq \varepsilon_0) \wedge (u \geq u_y); \quad (1)$$

$$x_j = \max(x_1, x_2, \dots, x_n); \quad (2)$$

$$x_1 = k_1 I_1, x_2 = k_2 I_2, x_n = k_n I_n, \quad (3)$$

где  $y_j$  – выходной сигнал измерительного органа защиты в предположении, что  $x_j$  имеет максимальное значение  $\hat{x}_j$ ;

$x_1, x_2, \dots, x_n$  – сигналы на выходах измерительного органа защиты;

$u$  – сигнал о появлении ННП;

$u_y$  – уставка по напряжению;

$\varepsilon_0$  – некоторая, наперед заданная величина (или порог срабатывания) в предположении, что защита имеет одну, общую на все присоединения уставку;

$I_1, I_2, \dots, I_n$  – первичные токи нулевой последовательности отдельных линий;

$k_1, k_2, \dots, k_n$  – коэффициенты преобразователей токов (в общем случае не равные между собой).

Если не учитывать погрешности в преобразовании первичных токов, вносимые ТТП, то для обеспечения селективности ЦЗ число присоединений, отходящих от шин подстанций, должно быть не менее трех при отсутствии в сети источников дополнительного тока.

В отличие от простых токовых защит ЦЗ не требует отстройки от собственных емкостных токов защищаемых присоединений, поскольку ток замыкания на землю в поврежденном присоединении равен сумме токов неповрежденных присоединений.

Ток срабатывания ЦЗ определяется выражением [1]:

$$I_{c,3} = \frac{I_{C\Sigma\min} - I_{C\max}}{k_q}, \quad (4)$$

где  $I_{C\Sigma\min}$  – наименьшее реально возможное значение суммарного емкостного тока сети;

$I_{C\max}$  – наибольшее реально возможное значение емкостного тока защищаемого присоединения;

$k_q$  – коэффициент чувствительности.

С учетом формул (3) и (4) условие чувствительности

$$\frac{k_j I_{j\min}}{\varepsilon_0} = \frac{\hat{x}_{j\min}}{\varepsilon_0} \geq k_q. \quad (5)$$

Условие селективности характеризуется коэффициентом селективности  $k_s$ , который определяется по уравнению

$$k_s = \hat{x}_j - \hat{x}_k \geq \delta \quad (6)$$

или

$$\hat{x}_j \geq \hat{x}_k + \delta, \quad (7)$$

где  $\hat{x}_j$  – входной сигнал с наибольшим значением по уравнению (2);

$\hat{x}_k$  – второй по величине наибольший входной сигнал, причем  $\alpha < \hat{x}_j > \hat{x}_k$ ;

$\delta$  – разрешающая способность измерительного органа защиты (способность выделять или различать наибольший сигнал из нескольких близких по значению сигналов);

$\alpha$  – возможная величина сигнала небаланса, обусловленная токами пуска электродвигателей и междуфазных коротких замыканий.

С учетом выражения (3) уравнение (6) можно записать следующим образом:

$$k_s = k_j \hat{I}_j - k_k \hat{I}_k \geq \delta. \quad (8)$$

Если учесть, что в общем случае коэффициенты  $k_1, k_2, \dots, k_n$  не равны между собой, то минимально допустимая по условиям селективности защиты кратность токов поврежденного ( $\hat{I}_j$ ) и неповрежденного ( $\hat{I}_k$ ) присоединений из формул (3) и (8)

$$\frac{\hat{I}_j}{\hat{I}_k} \geq \frac{k_k}{k_j} + \frac{\delta}{k_j \hat{I}_k} \quad (9)$$

может оказаться значительной даже при высокой разрешающей способности схемы сравнения, т. е. при  $\delta \approx 0$ .

Если в выражении (9) принять  $\delta = 0$ , то будем иметь

$$\hat{I}_j k_j \geq \hat{I}_k k_k. \quad (10)$$

Введя коэффициенты отстройки, учитывающие отклонения значений коэффициентов  $k_1, k_2, \dots, k_n$  и токов в присоединениях, выражение (10) запишем в виде

$$\hat{I}_k k_k k'_{отс} \leq \hat{I}_j k'_j k''_{отс}. \quad (11)$$

С учетом (10) и (11) минимальную расчетную кратность токов поврежденного  $j$ -го и неповрежденного  $k$ -го присоединений, при которой будет обеспечиваться устойчивость функционирования защиты, можно найти по формуле [1]:

$$k_{jk} = \frac{\hat{I}_k}{I_k} \geq \frac{k_j}{k_k} k_{отс}, \quad (12)$$

где  $k_{отс} = k'_{отс} k''_{отс}$ .

Из выражений (9) и (12) следует, что устойчи-

вость функционирования централизованных защит можно обеспечить путем применения преобразователей ток – выпрямленное напряжение с регулируемыми коэффициентами преобразования и схем сравнения с минимальным значением разрешающей способности, а также за счет обеспечения точности трансформации используемых токов. В реальных условиях погрешности преобразования не позволяют получить точное соответствие между токами в присоединениях  $I_1, I_2, \dots, I_n$  и электрическими величинами на входах измерительного органа ЦЗ (например, напряжениями  $U_1, U_2, \dots, U_n$ ) во всем рабочем диапазоне сравниваемых величин, что может привести к нарушению устойчивости функционирования устройств данного типа в сетях с небольшой кратностью токов в поврежденном и неповрежденных присоединениях [1]. Особенно заметно влияние погрешностей, вносимых ТТНП, для защит, реагирующих на переходные токи и работающих в большом диапазоне значений и частот сравниваемых величин.

На базе рассмотренных алгоритмов функционирования разработан ряд схемных решений по выполнению устройств для ЦЗ, работающих в режимах последовательного, параллельного, параллельно-дискретного (импульсного) сравнения абсолютных значений электрических величин [1]. Ниже в качестве примера приведена структурная схема устройства для централизованной защиты от ОЗЗ типа «Индикатор-М» (рис. 1).

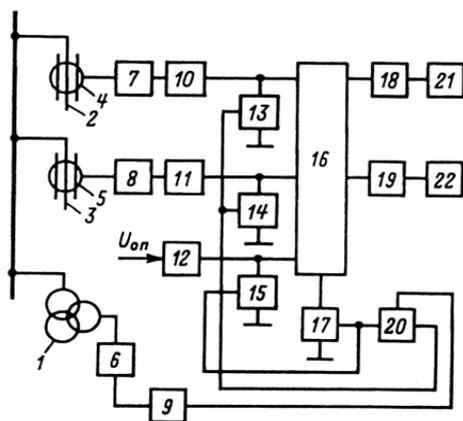


Рис. 1. Структурная схема устройства для централизованной защиты от ОЗЗ типа «Индикатор-М»

Устройство состоит из ТТНП 1; установленных на присоединениях 2, 3 трансформаторов тока нулевой последовательности 4, 5; пускового органа 6; преобразователей тока в выпрямленное напряжение 7, 8; органа выдержки времени (ОВВ) 9; интеграторов 10–12; размыкающих ключей 13–15; макси-селектора 16; компаратора 17; реагирующих органов 18, 19; замыкающего ключа 20 и исполнительных органов 21, 22.

Основными элементами преобразователя 7(8) являются согласующий трансформатор и выпрямитель с конденсатором.

Интеграторы 10–12 выполнены в виде RC-цепей с одинаковыми постоянными времени, а ключи 13–15 – на полевых транзисторах.

Макси-селектор 16 содержит диоды и операционные усилители, соединенные по схеме, обеспечивающей усиление входных сигналов, поиск и указание канала с наибольшим сигналом.

Компаратор 17 совместно с ключами 13, 14 предотвращает возможность появления на входах операционных усилителей макси-селектора 16 опасных напряжений.

Реагирующий орган 18 (19) состоит из транзисторов, работающих в ключевом режиме.

Устройство функционирует следующим образом.

При отсутствии в сети ОЗЗ пусковой орган 6, ОВВ 9, реагирующие 18, 19 и исполнительные 21, 22 органы находятся в исходном состоянии. На вход интегратора 12 и соответственно на нижний вход макси-селектора 16 подается опорное напряжение  $U_{оп}$ , величина которого выбирается из условия отстройки устройства от сигналов, обусловленных несимметрией сети в нормальном режиме и при коммутациях. Под воздействием этого напряжения макси-селектор 16 находится в состоянии, при котором сигналы на входах реагирующих органов 18, 19 отсутствуют (лог. 0). Выходной сигнал компаратора 17 имеет высокий уровень (лог. 1). Ключи 13, 14 замкнуты, а ключи 15 и 20 разомкнуты.

При возникновении в сети ОЗЗ, например на присоединении 2, срабатывают пусковой орган 6 и ОВВ 9, при этом ключ 20 замыкается, а ключи 13, 14 размыкаются. На выходах интеграторов 10 и 11 появляются напряжения, изменяющиеся по экспоненциальному закону, причем напряжение на выходе интегратора 10 имеет наибольшее значение, поскольку он установлен в канале поврежденного присоединения 2. При достижении этим напряжением величины опорного напряжения  $U_{оп}$  на верхнем выходе макси-селектора 16 и на выходе компаратора 17 появляются напряжения, изменяющиеся также по экспоненциальному закону. Начальное значение этого напряжения соответствует заданному уровню напряжения  $U_{оп}$ . В результате этого срабатывают реагирующий 18 и исполнительный 21 органы.

Если после срабатывания этих органов напряжение на входе компаратора 17 увеличится до значения его порога срабатывания, последний переключится в другое состояние, при котором выходной сигнал компаратора 17 имеет низкий уровень (лог. 0). В результате ключи 13–15 временно замыкаются, разряжая при этом конденсаторы интеграторов до заданного уровня. Таким путем обеспечивается защита операционных усилителей макси-селектора 16 от появления на выходах интеграторов 10, 11 опасных напряжений и возможность определения канала с наибольшим сигналом в широком диапазоне изменения контро-

лируемых сигналов. В таком режиме устройство работает до момента отключения поврежденного присоединения. После его отключения и исчезновения на выходе ТННП 1 напряжения нулевой последовательности схема устройства автоматически возвращается в исходное состояние и оно готово к повторному действию.

Аналогично устройство работает при ОЗЗ на другом присоединении.

Техническая характеристика устройства защиты типа «Индикатор-М»

Минимальный первичный ток срабатывания (при использовании ТННП типа ТЗЛ), А	.....	0,05
Минимальное вторичное напряжение срабатывания, В	.....	10
Время срабатывания, мс	.....	2
Напряжение питания постоянного тока, В	.....	24

Централизованные защиты обладают целым рядом важнейших достоинств: в отличие от индивидуальных токовых защит они не требуют отстройки от бросков собственных емкостных токов, что позволяет создавать более чувствительные и одновременно более селективные устройства; по сравнению с направленными защитами более просты в наладке и обслуживании, требуют значительно меньших затрат на монтаж и эксплуатацию.

Отмеченные свойства и преимущества централизованных защит делают их весьма перспективными для широкого применения, в частности в карьерных распределительных сетях, характеризующихся относительно большим диапазоном изменения параметров и повышенной аварийностью.

Вместе с тем при создании централизованных защит от ОЗЗ, основанных на принципе сравнения абсолютных значений токов нулевой последовательности, в ряде случаев возникает трудность обеспечения эффективности их функционирования в сетях с большим диапазоном изменения переходных и установившихся токов ОЗЗ. С одной стороны, защиты должны обладать высокой чувствительностью, а с другой – не терять свойство избирательности при воздействии больших входных сигналов. В зависимости от параметров сети, вида и характера ОЗЗ и т. д. кратность максимально возможных токов нулевой последовательности по отношению к минимально возможным токам в одной и той же сети с передвижными электроустановками может достигать значений 100 и более [1].

Одним из способов преодоления этой трудности является использование принципа опережающего реагирования на наибольший ток нулевой последовательности. На основе данного принципа возможно создание нового класса устройств токовой управляемой (адаптивной) защиты (ТУЗ) с повышенным уровнем технического совершенства.

Алгоритм функционирования ТУЗ можно представить в следующем виде [1]:

$$y_j = (\tilde{t}_j \geq T_j) \wedge (u \geq u_y), \quad (13)$$

$$\tilde{t}_j = \min(t_1, t_2, \dots, t_n), \quad (14)$$

$$t_1 = f(k_{B1}), t_2 = f(k_{B2}), \dots, t_n = f(k_{Bn}), \quad (15)$$

$$k_{B1} = \frac{x_1}{\varepsilon_0}, k_{B2} = \frac{x_2}{\varepsilon_0}, \dots, k_{Bn} = \frac{x_n}{\varepsilon_0}, \quad (16)$$

где  $y_j$  – выходной сигнал защиты в предположении, что переменная времени  $t_j$  имеет минимальное (наименьшее) значение  $\tilde{t}_j$ ;  $t_1, t_2, \dots, t_n$  – текущие значения времени;  $T_j$  – время срабатывания (порог времени);  $u$  – абсолютная величина сигнала ННП;  $u_y$  – уставка по напряжению;  $k_{B1}, k_{B2}, \dots, k_{Bn}$  – кратности входных величин;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – абсолютные величины сигналов на входах измерительного органа защиты;  $\varepsilon_0$  – некоторая наперед заданная величина (уставка).

Как следует из (16), практическая реализация принципа построения токовых управляемых защит (с управляемыми характеристиками) может быть осуществлена двумя способами [1]:

- соответствующим преобразованием входных сигналов (воздействующих величин);
- автоматическим регулированием уставки срабатывания.

Преобразование входных сигналов может производиться как до срабатывания, так и после срабатывания исполнительных органов защиты. В зависимости от принятого способа выполнения токовые управляемые защиты можно разделить на две группы: с преобразованием входных сигналов и с автоматическим регулированием уставки.

В устройствах ТУЗ с преобразованием входных сигналов величина  $\varepsilon_0$  является постоянной и общей для всех подключаемых к защите присоединений сети, а в устройствах ТУЗ с автоматическим регулированием уставки срабатывания указанная величина изменяется по заданному закону (экспоненциальному, линейному и др.).

Значение времени срабатывания  $T_j$  находится в пределах:

- для защит с преобразованием входных сигналов,

$$T_j = \begin{cases} 0, & \text{при } k_{Bj} = \infty, \\ \infty, & \text{при } k_{Bj} \leq 1; \end{cases} \quad (17)$$

- для защит с автоматическим регулированием уставки срабатывания

$$T_j = \begin{cases} 0, & \text{при } k_{Bj} \geq 1, \\ \infty, & \text{при } k_{Bj} = 1. \end{cases} \quad (18)$$

Из (17) и (18) следует, что

$$0 \leq T_j \leq \infty. \quad (19)$$

Для получения необходимых временных характеристик можно использовать RC-цепи и генераторы изменяющегося напряжения, при этом RC-цепи могут быть построены по принципу заряда или перезаряда их конденсаторов напряжениями, зависящими от амплитуд (средних значений) входных величин.

Сопоставительный анализ выражений (13)–

(16), характеризующих алгоритм функционирования ТУЗ, и выражений (1)–(6), характеризующих алгоритм функционирования ЦЗ, показывает, что ТУЗ по своим свойствам имеют много общего с простыми централизованными защитами: реагируют на наибольший ток ОЗЗ, поскольку наименьшее значение времени срабатывания  $t_j$ , зависит, в конечном счете, от абсолютных значений входных сигналов; не требуют отстройки от бросков собственных емкостных токов, благодаря чему возможно выполнение противоречивых требований по обеспечению чувствительности, селективности и быстродействия. Управляемые защиты не требуют также расчетов и замеров токов нулевой последовательности по каждому присоединению. Защиты в состоянии осуществлять автоматический поиск и непрерывное слежение за местонахождением максимального входного сигнала как в переходном, так и установившемся режиме ОЗЗ при всех видах замыканий (металлическое, дуговое, через переходное сопротивление и т. д.).

Основное преимущество ТУЗ, основанных на принципах автоматического регулирования входных сигналов и уставки (порога) срабатывания, по сравнению с централизованными защитами, построенными на принципе сравнения абсолютных значений входных величин, состоит в том, что использование рассмотренных принципов обеспечивает инвариантность основных свойств защиты в широком диапазоне входных величин. К положительным свойствам защиты относятся также возможность их реализации на базе типовых элементов и узлов, серийно выпускаемых промышленностью, простота схем и структур. Применение в структурах устройств интегральных микросхем и микроэлектронных процессоров открывает перспективы для значительного увеличения точности работы. Устройства просты в обслуживании и наладке.

Конструктивно управляемые защиты могут выполняться в виде централизованных или автономных индивидуальных устройств в сочетании с общими для всей подстанции элементами. Однако по своей технической сути управляемые защиты ближе к централизованным защитами с гибкой переменной структурой.

На базе рассмотренного принципа был создан комплекс устройств для централизованной ТУЗ с преобразованием входных сигналов и автоматическим регулированием уставки срабатывания. Опытные образцы этих устройств были внедрены в сетях 6 кВ одного из крупных промышленных предприятий Южного Урала. Устройства реализованы на различной элементной базе с использованием аналого-цифровых интегральных микросхем и ряда новых технических решений.

Созданные устройства предназначены для установки на подстанциях и охватывают все отходящие от них присоединения, питающие как передвижные электроустановки карьеров, так и ста-

ционарные электроустановки других потребителей. Наименьший первичный ток срабатывания защит принят равным 0,1 А, а чувствительность пускового органа по напряжению нулевой последовательности составляет около 10 В.

Ниже в качестве примера рассмотрено устройство для управляемой токовой защиты с преобразованием входных сигналов (рис. 2).

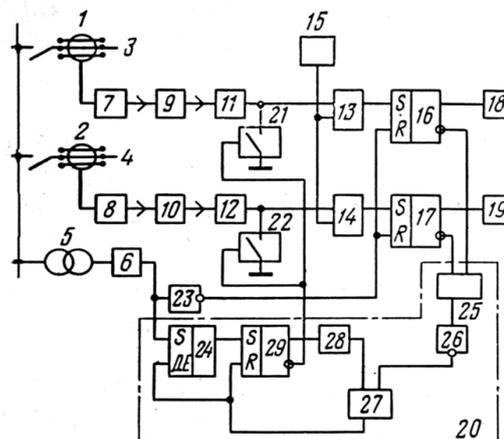


Рис. 2. Структурная схема устройства для ТУЗ с преобразованием входных сигналов

Устройство содержит ТТНП 1, 2, установленные на присоединениях 3, 4; пусковой орган 6; последовательно соединенные преобразователи тока в выпрямленное напряжение 7, 8 с запоминающими элементами 9, 10; интегрирующие элементы 11, 12; компараторы 13 и 14, первые входы которых присоединены к источнику опорного напряжения 15, а вторые – к выходам интегрирующих элементов 11, 12; исполнительные органы 16, 17, подключенные к выходам пороговых элементов 13, 14; выходные органы 18, 19; блок управления 20, входы которого подключены к выходам пускового органа 6 и исполнительных органов 16, 17; ключи 21, 22, подключенные параллельно выходам интегрирующих элементов 11, 12; элемент НЕ 23.

Исполнительные органы 16, 17 выполнены на RS-триггерах, автоматическая установка которых в исходное состояние осуществляется элементом НЕ 23.

Блок управления 20 состоит из элементов «Запрет» 24, совпадения 25, НЕ 26, ИЛИ 27, выдержки времени 28 и триггера 29.

Устройство работает следующим образом. При отсутствии в сети ОЗЗ пусковой орган 6, исполнительные органы 16, 17 и выходные органы 18, 19 находятся в исходном состоянии, ключи 21 и 22 замкнуты.

При возникновении в сети ОЗЗ, например, на присоединении 3, срабатывает пусковой орган 6, и ключи 21 и 22 размыкаются. Одновременно происходит пуск элемента выдержки времени 28. На выходах интегрирующих элементов 11, 12 появляются постоянные (выпрямленные) напряжения, пропорциональные токам замыкания на землю и

изменяющиеся во времени по экспоненциальному закону.

Поскольку на поврежденном присоединении величина тока замыкания, как правило, наибольшая, то на выходе интегрирующего элемента поврежденного присоединения (в рассматриваемом случае на выходе элемента 11) выходное напряжение в любой момент времени будет больше напряжения на выходах остальных интегрирующих элементов. Если это напряжение будет равно или больше опорного напряжения, поступающего на первый вход порогового элемента 13, то на выходе элемента появится сигнал и произойдет срабатывание исполнительного органа 16 и выходного органа 18. Вследствие этого отключится выключатель поврежденного присоединения 3.

После срабатывания исполнительного органа 16 триггер 29 возвратится в исходное состояние и ключи 21, 22 вновь замкнутся. В результате будет предотвращено каскадное срабатывание компараторов и исполнительных органов неповрежденных присоединений. Замыкание ключей обеспечивает также защиту элементов устройства от опасных напряжений.

При действии кратковременных сигналов устройство не срабатывает, так как выходное напряжение интегрирующих элементов 11, 12 не успевает увеличиться до напряжения срабатывания. Замыкание ключей 21, 22 в этом случае осуществляется элементом выдержки времени 28, который имеет выдержку времени больше общего времени срабатывания устройства.

Введение компараторов с одинаковым опорным напряжением обеспечивает выполнение защиты с одной общей на все присоединения уставкой, что сокращает затраты на наладку и настройку защиты.

Опыт эксплуатации этих защит показал, что они имеют коэффициенты правильных действий, значительно (в 1,5 и более раз) превышающие значения этих показателей у находящихся в работе устройств защиты типов ЗЗП-1 и РЗН-3. Это позволяет существенным образом снизить процент неселективных, в том числе групповых, отключений неповрежденных присоединений и одновременно в несколько раз уменьшить частоту сраба-

тывания резервной неселективной защиты нулевой последовательности и отключений питающих подстанции силовых трансформаторов.

Для исключения влияния на селективность защиты разброса параметров тока нулевой последовательности настройка защиты должна проводиться по первичному току срабатывания, величина которого в электрически связанной сети принимается одинаковой для всех защищаемых присоединений.

Таким образом, вновь созданные устройства защиты от ОЗЗ способны надежно и устойчиво функционировать независимо от изменения параметров сети в широком диапазоне и при всех возможных видах замыканий на землю, включая ОЗЗ через большие переходные сопротивления, возникающие в сети, например, при утечке на землю через поврежденную изоляцию сети, при касании проводов воздушных ЛЭП выступающими частями большегрузных автомобилей типа БЕЛАЗ, при падении проводов воздушных ЛЭП на землю или на траверсы деревянных опор и т. п. Их применение способствует повышению надежности электроснабжения потребителей и одновременному улучшению электробезопасности при эксплуатации электрических сетей и установок.

Следует отметить, что защита от ОЗЗ является единственным и основным средством, уменьшающим вероятность поражения людей электрическим током в случае однофазного прикосновения к токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением. Она является также дополнительным средством защиты людей при прикосновении к токоведущим частям электроустановок, оказавшимися под повышенным напряжением в результате пробоя рабочей изоляции и неисправности защитного заземления.

#### Литература

1. Бухтояров, В.Ф. Защита от замыканий на землю в электроустановках 6–35 кВ / В.Ф. Бухтояров, В.И. Щуцкий. – Екатеринбург: УрГАПС, 1999. – 430 с.

2. Правила устройства электроустановок / Минэнерго РФ. – 7-е изд. – Челябинск, 2004. – 844 с.

Поступила в редакцию 10.03.2012 г.

**Бухтояров Василий Федорович** – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент АЭН РФ, член-корреспондент РАЕ, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Контактный телефон: 8 (351) 267-94-49.

**Bukhtoyarov Vasily Fedorovich** is a Doctor of Science (Engineering), a Professor, a corresponding member of Academy of Electrical Engineering of the Russian Federation, a corresponding member of the Russian Academy of Natural History, an academician of the Russian News Agency, a professor of Emergency Management Department of South Ural State University. Telephone: 8 (351) 267-94-49.