

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЗАЩИТЫ СЕТЕЙ 0,4 кВ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМИ РАСЦЕПИТЕЛЯМИ ЗА СЧЕТ РАСШИРЕНИЯ ПЕРЕЧНЯ ЗАЩИТ, ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К УДАЛЁННЫМ КЗ И РЕАЛИЗАЦИИ РЕЖИМА "ДАЛЬНЕГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ"

Гапоненко Г.Н., к.т.н., Кобозев А.С., к.т.н., Омельченко В.В.  
ЗАО "Электрические низковольтные аппараты и системы" (ЭНАС),  
Украина, 61037, Харьков, пр. Московский, 138А  
тел.(057) 392-31-00, факс (057) 392-31-43, E-mail: ENAS2@yandex.ru

*Розглянуто можливість підвищення надійності захисту повітряних та кабельних мереж 0,4 кВ шляхом заміни аналогових розчіплювачів автоматичних вимикачів на мікропроцесорні, які мають більший перелік захистів та більшу високу якість цих захистів. Так, за рахунок більшого глибокого аналізу процесів в електричних мережах стало можливим підвищити чутливість захисту до струмів віддалених КЗ та вірогідність безвідмовної роботи захисту за рахунок реалізації режиму "далекого резервування".*

*Рассмотрена возможность повышения надежности защиты воздушных и кабельных электрических сетей 0,4 кВ путем замены аналоговых расцепителей автоматических выключателей на микропроцессорные, имеющие больший перечень защит и более высокое качество этих защит. Так, за счет более глубокого анализа процессов в электрических сетях удалось повысить чувствительность защиты к токам удаленных КЗ и вероятность безотказной работы защиты за счет реализации режима "дальнего резервирования".*

Надежность защиты электрических сетей, в том числе и напряжением 0,4 кВ, характеризуется различными показателями.

Одним из таких показателей является **количество защит**, обеспечиваемых данным аппаратом защиты. Чем больше перечень аварийных ситуаций в электрической сети, на которые реагируют защитные аппараты, тем надежнее защита этой сети. В существующих сетях, защищаемых выключателями отечественного производства, реализуется, в основном, только защита от токов перегрузки и токов короткого замыкания (КЗ).

Надежность защиты характеризуется не только количеством защит, но и **чувствительностью** этих защит. В выключателях, имеющих электронные аналоговые расцепители, чувствительность к токам удаленных КЗ не достаточна для надежной защиты сетей с длинными кабельными или воздушными линиями.

Надежность защиты характеризуется также и **показателем вероятности безотказной** её работы при выполнении той или иной защитной функции. Этот показатель особенно важен при выполнении аппаратом защитных функций в режиме токов КЗ, т.к. именно в этом режиме элементы электроустановок испытывают максимальные термические и механические нагрузки от протекающих токов КЗ.

В настоящее время надёжность защиты определённого участка электрической сети определяется показателем вероятности безотказной работы выключателя, защищающего этот участок сети.

Однако, существующие показатели вероятности безотказной работы выключателей при выполнении своих защитных функций ( $P = 0,95 \div 0,97$ ) уже не отвечают требованиям надежности защиты электроустановок ответственных потребителей.

Например, отказ защиты в системе электроснабжения электроустановки АЭС может приводить к серьёзным технологическим последствиям. А для го-

родских сетей отказ защиты приводит к повреждению кабельных линий, проложенных в земле и, как следствие, к большим затратам при устранении повреждений в условиях большой насыщенности подземных и наземных городских коммуникаций.

Поэтому важным направлением повышения показателя безотказности защиты сетей является переход к защите элементов указанных сетей не одним, а системой из двух аппаратов защиты. Такое новое требование к защите сетей 0,4 кВ ответственных потребителей появилось в 90-е годы прошлого столетия. Согласно этому требованию (требованию "дальнего резервирования"), в случае отказа выключателя при выполнении им функции защиты от тока КЗ, защиту участка цепи, расположенного за ним, должен надежно осуществить вышестоящий аппарат.

Однако времятоковые характеристики зоны КЗ существующих выключателей с аналоговыми электронными расцепителями не позволяют в полной мере обеспечить реализацию надежного резервирования возможных отказов выключателей, защищающих тот или иной участок сети.

Подытоживая, можно констатировать, что существующие системы защиты сетей 0,4 кВ, где в качестве аппаратов защиты используются отечественные выключатели с электронными аналоговыми расцепителями, уже не отвечают современным требованиям надежности ни по **количеству** защит, ни по **чувствительности** к токам КЗ, ни по показателю **вероятности безотказной работы** при выполнении своих защитных функций.

Поэтому для модернизации существующих электрических сетей 0,4 кВ и, в частности, их систем защиты необходимы новые аппараты защиты, отвечающие требованиям надежности защиты по всем указанным выше показателям.

Важнейшим фактором успеха при разработке таких выключателей является использование более ши-

роких возможностей микропроцессорной техники в их расцепителях. Микропроцессорная техника позволяет более глубоко и всесторонне анализировать процессы, происходящие в электрических цепях и на основании такого анализа обеспечить новые виды защит.

Целью настоящей статьи является показать те новые научные и технические решения, которые были реализованы при создании новых микропроцессорных расцепителей (МПР) для существенного повышения надежности защиты сетей 0,4 кВ.

#### А. Повышение надежности защиты электрических сетей 0,4 кВ за счет расширения перечня защитных функций выключателей с новыми МПР

Как указывалось ранее, аналоговые расцепители, в частности, широко применяемых выключателей АЗ794С, обеспечивают лишь защиту от токов перегрузки (защита L) и защиту от токов КЗ с временными уставками для реализации "временной" селективности (защита S).

МПР для тех же аппаратов АЗ790С дополнительно имеют следующие защитные функции:

1. Защита от превышения абонентом лимита потребляемой мощности (защита  $L_{\min}$ );
2. Защита от удаленных КЗ (защита  $S_1$ );
3. Быстродействующая "интегральная" защита (защита  $S_2$ );
4. Защита от КЗ на землю (защита Z);
5. Защита от однофазных КЗ на нулевой провод (защита G);
6. Защита от возможных перенапряжений у однофазных потребителей - (защита ZO).

Важно отметить, что в МПР новые виды защит не заменяют уже имеющиеся в аналоговых расцепителях защиты, а лишь добавляются к ним. При добавлении той или иной защиты соответствующим образом изменяются формируемые расцепителем времятоковые защитные характеристики.

На рис.1 приведена времятоковая защитная характеристика  $t_c = f(I_\phi)$ , формируемая аналоговым расцепителем выключателя АЗ794С (ломаная 1-2-3-4-5-6), а также и новые защитные характеристики –  $t_c = f(I_\phi)$  и  $t_c = f(\Delta I_\phi)$ , формируемые микропроцессорным расцепителем для этого же аппарата (ломаная 1-2-7-8-9-10-5-6).

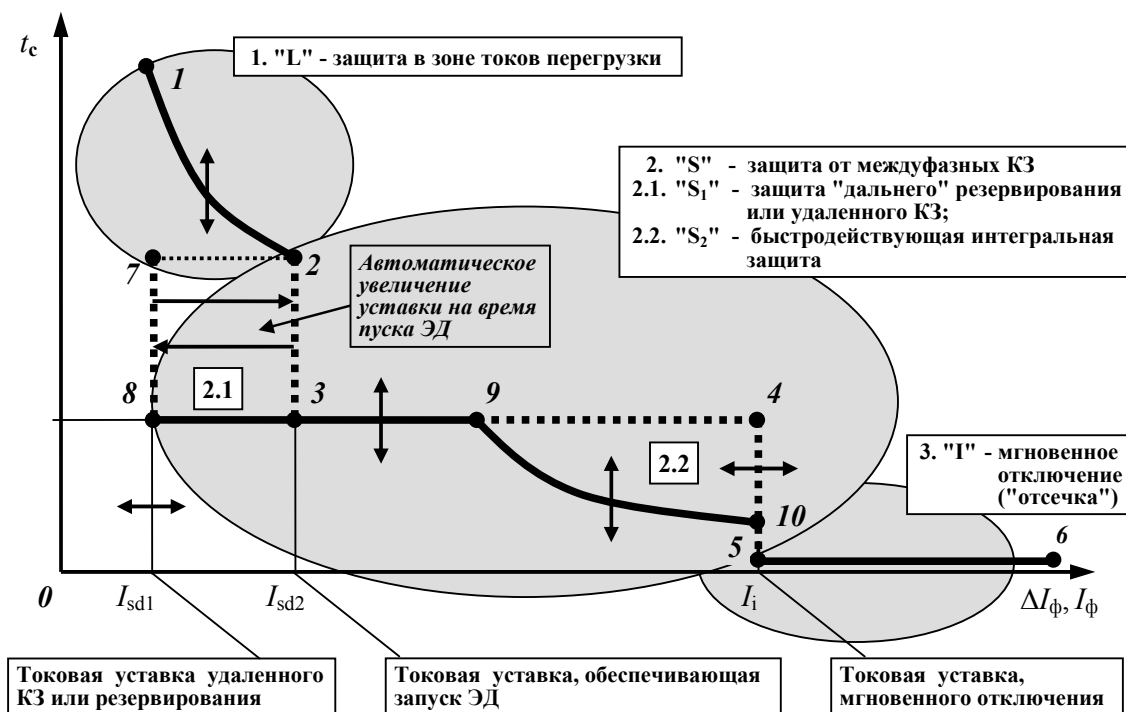


Рис. 1. Защитные времятоковые характеристики  $t_c = f(I_\phi)$  аналоговых расцепителей и  $t_c = f(I_\phi)$ ,  $t_c = f(\Delta I_\phi)$  – микропроцессорных расцепителей

Сравнение представленных на рис.1 времятоковых характеристик показывает, что защитная характеристика МПР существенно отличается от таковой для аналогового расцепителя. Так, по оси абсцисс времятоковая характеристика МПР имеет два параметра – величину полного тока  $I_\phi$  и величину тока возмущения цепи  $\Delta I_\phi$ . С математической точки зрения, ток возмущения цепи  $\Delta I_\phi$  представляет собой разницу между текущим значением полного тока  $I_\phi$  и величиной тока предыстории  $I_n$  ( $\Delta I_\phi = I_\phi - I_n$ ). В зоне перегрузки МПР реагирует на величину полного тока  $I_\phi$ , а в зоне КЗ – на величину тока возмущения цепи  $\Delta I_\phi$ . Это позволяет, как будет показано ниже, сделать защиту при токах КЗ более чувствительной и быстродействующей.

Кроме этого, если для аналоговых расцепителей (см. рис.1) переход от зоны перегрузки к зоне КЗ про-

исходит всегда по одной линии 2-3, то для МПР указанный переход, в зависимости от рода тока возмущения, может происходить или по линии 2-3 (при пуске ЭД), или по ломаной линии 2-7-8, в случае удаленного КЗ.

Более подробно техническая суть указанных отличий формирования времятоковой характеристики МПР будет рассмотрена ниже. Здесь же следует отметить, что для потребителей суть отличия времятоковой характеристики МПР в зоне КЗ заключается в том, что в дополнение к существующим токовым и временным уставкам ( $I_{sd}$  и  $t_{sd}$ ), введены две новые:

- токовая уставка "дальнего" резервирования (или уставка удаленного КЗ) -  $I_{sd1}$ ;
- "интегральная" уставка  $Q_{sd}$  для реализации системы быстродействующей "интегральной" селективной защиты ("интегральной" селективности).

### Б. Повышение чувствительности защиты

Техническая суть введения новой токовой уставки "дальнего резервирования" (или удаленного КЗ) основывается на новом способе быстрой идентификации тока возмущения цепи – является ли этот ток пусковым током электродвигателей или током удаленного КЗ [1].

Идентификация вида тока возмущения производится на основе анализа так называемой силовой характеристики цепи. Последняя представляет собой зависимость во времени суммы  $S$  квадратов мгновенных значений токов всех фаз цепи:

$$S(t) = 3 \cdot I_{\phi}^2 \cdot \{1 - 2 \cdot e^{-t/T} \cdot \cos(\omega \cdot t) + e^{-2t/T}\}, \quad (1)$$

где  $I_{\phi}$  – действующее значение симметричной составляющей тока,  $T$  – электромагнитная постоянная времени цепи.

Силовой указанная характеристика обозначается потому, что она характеризует электродинамические силы, которые приходится преодолевать аппарату при включении его на короткозамкнутую цепь. Важной особенностью силовой характеристики трехфазной цепи  $S(t)$  является то, что её характер зависит от постоянной времени цепи (или  $\cos \varphi$ ) и не зависит от фазы возникновения тока возмущения цепи. Это значит, что как бы хаотично не изменялись характер и величина тока в каждой фазе, в зависимости от фазы включения  $\psi$ , характер силовой функции при определенном значении  $\cos \varphi$  всегда остается неизменным. Поэтому анализ силовой характеристики цепи позволяет быстро определить величину  $\cos \varphi$  цепи. Известно, что в цепи при пуске электродвигателя значение  $\cos \varphi = (0,2 \div 0,3)$ , а при удаленном КЗ значение  $\cos \varphi = (0,6 \div 0,7)$ . Поэтому по величине  $\cos \varphi$  (или по величине электромагнитной постоянной времени цепи  $T$ ) можно идентифицировать вид тока возмущения цепи.

Мгновенные значения токов в фазах  $i_j$  зависят не только от величины  $T$ , но и от случайной величины – фазы возникновения тока возмущения ( $\psi$ ). Поэтому по мгновенному значению тока  $i_j$  в фазе определить значение  $\cos \varphi$  не представляется возможным, а значит и невозможно идентифицировать вид тока возмущения.

Но идентификацию тока возмущения можно осуществить за счет анализа силовой характеристики цепи с током возмущения  $\Delta I_{\phi}$ . Такой анализ удобно проводить по значению коэффициента  $K_s$ , величина которого определяется как отношение максимального значения силовой функции  $S_{\max}$  к минимальному –  $S_{\min}$  ( $K_s = S_{\max} / S_{\min}$ ).

На рис.2 приведены вид силовой характеристики цепи  $S = f(t)$  для значений  $\cos \varphi = 0,2$  (сплошная линия) и  $\cos \varphi = 0,7$  (пунктир), а также зависимость  $K_s = f(\cos \varphi)$ . Зависимость  $K_s = f(\cos \varphi)$  получена на основании как расчетных данных, так и на основании результатов натурных испытаний. При натурных испытаниях величины токов измерялись как высокоточными коаксиальными шунтами испытательного стенда, так и трансформаторами тока для выключателей АЗ794С.

Испытания проводились при величине тока испытательной цепи  $I_{\phi} = 2$  кА. Статистический анализ результатов испытаний с помощью критерия Стьюдента, показал, что значения коэффициента  $K_s$  являются вполне информативным и удобным критерием идентификации пусковых токов и токов удаленных КЗ.

### В. Повышение быстродействия селективной защиты.

Повышение быстродействия защиты цепей от больших токов КЗ осуществляется, как указывалось

ранее, за счет добавления к существующему временному критерию селективности – разным по величине преднамеренным выдержкам времени на отключение ( $t_{sd}$ ), второго критерия селективности – интегральной уставки ( $Q_{sd}$ ).

Следует отметить, что интегральные зависимости времени срабатывания защиты  $t_c$  от величины тока КЗ в цепях 0,4 кВ существуют при использовании в качестве аппаратов защиты предохранителей. При этом, в качестве критерия селективности, по существу, используется интегральные уставки – интеграл вышестоящего предохранителя должен быть больше интеграла отключения нижестоящего. Поэтому указанную систему селективной защиты условно можно называть "интегральной". Однако, в силу целого ряда причин, такая "интегральная" селективная защита не может быть быстродействующей.

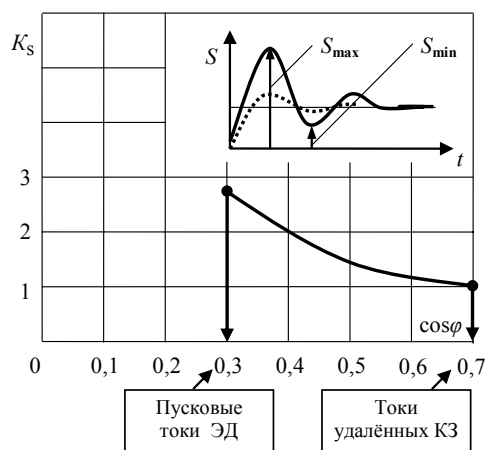


Рис. 2. Вид силовой характеристики  $S = f(t)$  и зависимость коэффициента  $K_s$  от величины  $\cos \varphi$

Использование микропроцессорной техники в расцепителях позволяет сделать "интегральную" селективную защиту, действительно, быстродействующей.

Прежде всего, с применением микропроцессорной техники, можно достаточно просто "отстроиться" от токов предыстории, с тем, чтобы защита реагировала только на величину тока возмущения. Это позволяет более точно, с меньшим запасом установить интегральную уставку вышестоящего выключателя, а значит, и повысить быстродействие защиты.

Второй проблемой, которая должна быть решена для обеспечения быстродействия интегральной селективной защиты, является проблема быстрого определения интеграла Джоуля для пропускаемого тока

$$Q_{II} = \int_0^t i^2 \cdot dt, \quad (i - \text{мгновенное значение тока})$$

с целью сравнения с "интегральной" уставкой. Расчет указанного интеграла не вызывает особенных трудностей, но прежде, чем такой расчет должен начаться, требуется определить значение симметричной составляющей тока КЗ для сравнения его с величиной токовой уставкой  $I_{sd}$  (которая всегда задается именно симметричной составляющей тока).

В разветвленных многоступенчатых цепях с длинными линиями (а таких – подавляющее большинство) расстояние между выключателем последней ступени защиты (у потребителя) и вышестоящим селективным выключателем (например, фидерным выключателем ТП) оказывается достаточно значительным. Достаточным значительным для того, чтобы величина тока КЗ в месте установки нижестоящего вы-

ключателя существенно снизилась в сравнении с током КЗ в месте установки вышестоящего аппарата (в ряде случаев – в несколько раз). Если нижестоящий выключатель обладает ещё и определёнными токоограничивающими свойствами, то величина интеграла отключения тока КЗ нижестоящим выключателем  $Q_o$ , а значит и интегральная уставка вышестоящего выключателя ( $Q_{sd} = 2 \cdot Q_o$ ) будет настолько малой, что при КЗ вблизи вышестоящего выключателя интеграл пропускаемого тока станет равным величине интегральной уставки уже спустя несколько мс после возникновения тока КЗ. Это значит, что время срабатывания расцепителя от интегральной уставки может быть очень малым. В этом, собственно, и заключается сущность быстродействующей интегральной селективной защиты, для реализации которой необходим способ быстрого определения симметричной составляющей тока КЗ ( $I_\phi$ ).

Традиционный метод определения  $I_\phi$  методом интегрирования мгновенных значений тока в течение 2-3 периодов (40-60 мс) для быстродействующей селективной защиты неприемлем, т.к. в ряде случаев определение величины тока КЗ, сравнение его со значением уставки  $I_\phi$ , подсчет интеграла тока и отключение необходимо произвести в течение всего нескольких миллисекунд.

Традиционный метод определения  $I_\phi$  методом интегрирования мгновенных значений тока в течение 2-3 периодов (40-60 мс) для быстродействующей селективной защиты неприемлем. Действительно, ведь, для наиболее тяжелого режима, а именно при трехфазном КЗ на зажимах выключателя определение величины тока КЗ, сравнение его со значением уставки  $I_\phi$ , подсчет интеграла тока и отключение необходимо произвести в течение всего нескольких миллисекунд.

Поэтому, наряду с традиционным методом определения симметричной составляющей тока, в алгоритме МПР предусмотрен и быстродействующий метод. Последний основан на использовании взаимосвязи величины симметричной составляющей тока возмущения  $\Delta I_\phi$  со значением силовой характеристики цепи:

$$\Delta I_\phi = \sqrt{S(\Delta i^2) / [3 \cdot \{1 - 2 \cdot e^{-t/T} \cdot \cos(\omega \cdot t) + e^{-2t/T}\}]} \quad (2)$$

Используя это выражение, можно быстро (спустя 2-3 мс) определить величину симметричной составляющей тока при трёхфазном КЗ. При этом важно отметить, что для трёхфазной и двухфазных цепей (с одинаковым фазным током  $I_\phi$ ) максимальные значения силовой функции одинаковые ( $S_{\max 3} = S_{\max 2}$ ). Это позволяет при использовании выражения (2) с достаточной точностью определять, величину симметричной составляющей тока ( $I_\phi$ ) и при двухфазных КЗ.

Подытоживая, можно констатировать, что использование в качестве критерия селективности "интегральной" уставки ( $Q_{sd}$ ) и метода быстрого определения величины тока цепи, позволяет существенно снизить время срабатывания защиты при предельных токах КЗ.

### **В. Повышение безотказности работы за счет реализации режима "дальнего" резервирования.**

Как указывалось выше, реализация режима "дальнего" резервирования предусматривает, что в случае отказа выключателя при выполнении им функции защиты от тока КЗ, защиту участка цепи, расположенного за ним, должен надежно осуществлять вышестоящий в системе защиты аппарат. В этом

случае показатель вероятности безотказной работы защиты существенно увеличивается.

Так, например, если нижестоящий и вышестоящий выключатели,  $V_2$  и  $V_1$ , соответственно, имеют одинаковую вероятность безотказной работы при выполнении своих защитных функций  $P_1 = P_2 = 0,95$  (именно такую вероятность безотказной работы имеют выключатели АЗ794С), то вероятность безотказной работы системы защиты из двух указанных аппаратов будет равна  $P_{1,2} = 0,9975$ . Это значит, что за сет реализации режима "дальнего резервирования" вероятность отказов защиты теоретически может быть **снижена в 20 раз**.

Однако, чтобы такое значительное увеличение надежности защиты перевести из теоретической плоскости в реальную, необходимо, прежде всего, чтобы вышестоящий выключатель имел высокую чувствительность к токам КЗ (она должна быть такой же, как и у нижестоящего). Кроме того, время срабатывания вышестоящего выключателя должно быть невелико.

Новые микропроцессорные расцепители, как было показано выше, отвечают указанным требованиям режима "дальнего резервирования". А это значит, что надёжность защиты, характеризуемая показателем безотказности работы, в случае применения выключателей с такими расцепителями, будет достаточно высокой.

### **Модернизация защиты сетей 0,4 кВ Облэнерго за счет применения выключателей с МПР**

В настоящее время в электроустановках Облэнерго в качестве селективных выключателей используются, в основном, аппараты АЗ794С, ВА55-41 и ВА55-43, разработанные ЗАО "ЭНАС" (правопреемником ВНИИ Электроаппарата). Поэтому вполне логично, что при разработке новых микропроцессорных расцепителей ориентировались, в первую очередь, именно на указанные типоразмеры выключателей. Благодаря этому может быть произведена достаточно глубокая модернизация сетей 0,4 кВ лишь за счет замены существующих селективных выключателей на такие же, но с микропроцессорными расцепителями.

В современных условиях ограниченных финансовых возможностей такая модернизация сетей является более приемлемым решением, чем полная реконструкция всей системы защиты сетей за счет замены всех установленных в сетях выключателей на аппараты зарубежных фирм, замены шкафов и других элементов электроустановок. При этом не факт, что выключатели зарубежных фирм будут иметь высокую чувствительность к токам удалённых КЗ и обеспечить режим "дальнего резервирования".

Ниже приводятся конкретные рекомендации по использованию новых видов защит при модернизации сетей 0,4 кВ.

Электрические сети Облэнерго подразделяются на два основных типа (см. рис. 3):

- сети с воздушными линиями и распределенной нагрузкой (рис. 3.а), характерные для электроснабжения частного сектора городов и сел.
- сети с кабельными линиями и со сосредоточенной нагрузкой (рис. 3.б), характерные для электроснабжения многоэтажных жилых домов.

Для сетей с воздушными линиями (рис. 3б) наиболее острой является проблема защиты от токов удалённых КЗ. При наличии распределенной нагрузки пусковые токи близкорасположенных электродвигателей могут быть в несколько раз больше тока удалённого КЗ. Большими, чем значение тока удалённого КЗ, могут быть также величины токов нагрузки от всех ближе расположенных фидеров. Выключатели с

аналоговыми расцепителями не могут обеспечить защиту таких сетей по всей её длине – а это значит, что защита таких сетей не отвечает требованиям надежности.

При замене существующих выключателей на такие же выключатели, но с МПР, надежность защиты существенно повышается. Для защиты от удаленных междуфазных КЗ в фидерном выключателе  $B_{2,3}$  устанавливается соответствующая защита  $S_1$ . При этом в зоне токов КЗ в МПР выключателя  $B_{2,2}$  устанавливаются две токовые уставки – токовая уставка  $I_{sd1}$ , величина которой соответствует значению тока удаленного КЗ, и уставка  $I_{sd2}$  – величина которой должна быть выбрана исходя из возможности нормального пуска электродвигателей, подключенных с питающей сети. Алгоритм работы МПР построен таким образом, что расцепитель не реагирует на токи перегрузки, даже если их значение больше уставки  $I_{sd1}$ , а при пуске электродвигателя токовая уставка автоматически, на время пуска, увеличивается до значения  $I_{sd2}$ .

Кроме защиты от удаленных КЗ ( $S_1$ ) в фидерном выключателе установлена также быстродействующая «интегральная» селективная защита ( $S_2$ ), обеспечивающая существенное снижение времени срабатывания выключателей разных ступеней защиты при предельных для данной ступени токах КЗ. На времятоковой характеристике (см. рис.1) снижение времени срабатывания определяется отрезком 4-12, т.к. время срабатывания МПР от интегральной уставки  $Q_{sd}$  при больших токах КЗ получается существенно меньше времени срабатывания от временной уставки  $t_{sd}$ .

В фидерных выключателях установлена также защита от КЗ на нулевой провод (защита  $G$ ), от КЗ на землю (защита  $Z$ ). В вводном выключателе  $B_1$  нет защиты от удаленного КЗ ( $S_1$ ), нет необходимости и в установке интегральной селективной защиты (функции  $S_2$ ) – достаточна установка обычной временной селективной защиты ( $S$ ). В то же время в выключателе  $B_1$  установлена защита от недопустимого превышения напряжения (не более  $1,1 \cdot U_n$ ) в случае чрезмерного перекоса токов в фазах обрыва нулевого провода (защита  $ZO$ ). Данная защита реагирует на одно-временное сочетание указанных двух факторов.

Для сетей с кабельными линиями (см. рис. 3б) наиболее острой является проблема надежности защиты кабельных линий от токов КЗ. Как указывалось ранее, в случае отказа защиты последствия от термического воздействия тока на кабельные линии очень значительны (кабель повреждается по всей его длине до места КЗ, замена кабеля в условиях насыщенной инфраструктуры города очень трудоемкая и дорогая процедура). В то же время, в рассматриваемых питающих сетях с сосредоточенными нагрузками нет проблемы защиты от удаленных КЗ с отстройкой от пусковых токов. Поэтому для таких сетей важным является реализация режима "дальнего резервирования" вводными выключателями возможных отказов фидерных выключателей (в случае отказа последних). Для повышения безотказности защиты за счет режима "дальнего резервирования" в вводном выключателе  $B_1$  установлена токовая защита резервирования ( $S_1$ ) и быстродействующая интегральная селективная защита ( $S_2$ ). При этом величина токовой уставки резервирования выключателя  $B_1$  ( $I_{sd1}$ ) должна быть выбрана равной или близкой к значению токовой уставки фидерного выключателя  $B_{2,3}$ . В фидерных выключателях

предусмотрена также защита от превышения абонентом величины лимита мощности поставляемой электроэнергии (защита  $L_{min}$ ). Назначение остальных защит в выключателях  $B_1$  и  $B_{2,3}$  такое же, как и для сетей с воздушными линиями.

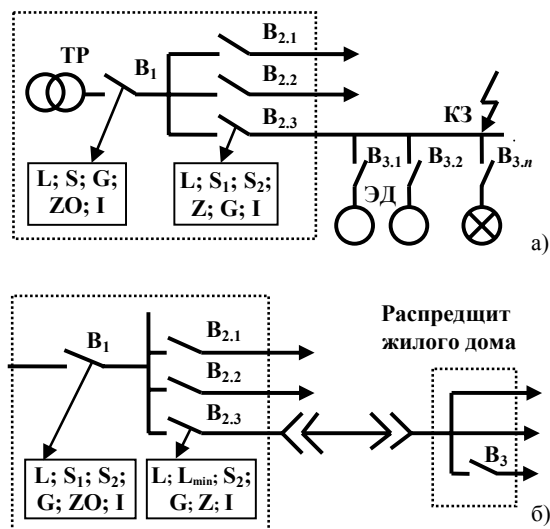


Рис. 3. Схемы модернизации защиты сетей 0,4 кВ:  
а – с воздушными линиями; б – с кабельными линиями

### Выводы

Применения в выключателях новых микропроцессорных расцепителей позволяет производить глубокую модернизацию систем защиты электрических сетей 0,4 кВ, в частности, сетей облэнерго, в результате которой улучшаются следующие технические и экономические показатели:

- Значительно расширяется перечень защит, а также параметров функционирования выключателей, которые можно контролировать.
- В несколько раз повышается чувствительность к удаленным КЗ, что особенно важно для сетей с воздушными линиями;
- Значительно повышается безотказность защиты от токов КЗ за счет реализации режима "дальнего резервирования", что особенно важно для сетей с кабельными линиями.
- За счет новой защиты от КЗ на землю повышается электробезопасность обслуживания сетей;
- Гарантируется высокое качество поставляемой электроэнергии за счет исключения чрезмерного повышения напряжения у однофазных потребителей в случае значительной несимметрии нагрузок и обрыва нулевого провода.

Все указанные выше новые функциональные возможности системы защит реализуются без каких-либо изменений структуры самих сетей (без дополнительного секционирования, без замены шкафов, с сохранением установочных размеров и т.д.), что существенно снижает временные и финансовые показатели модернизации сетей 0,4 кВ.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] "Система захисту розгалужених трифазних електричних кіл від струмів віддалених коротких замикань", Патент України № 81981, опублікований 25.02.2008 г, Бюл. №6.

Поступила 30.01.2008