

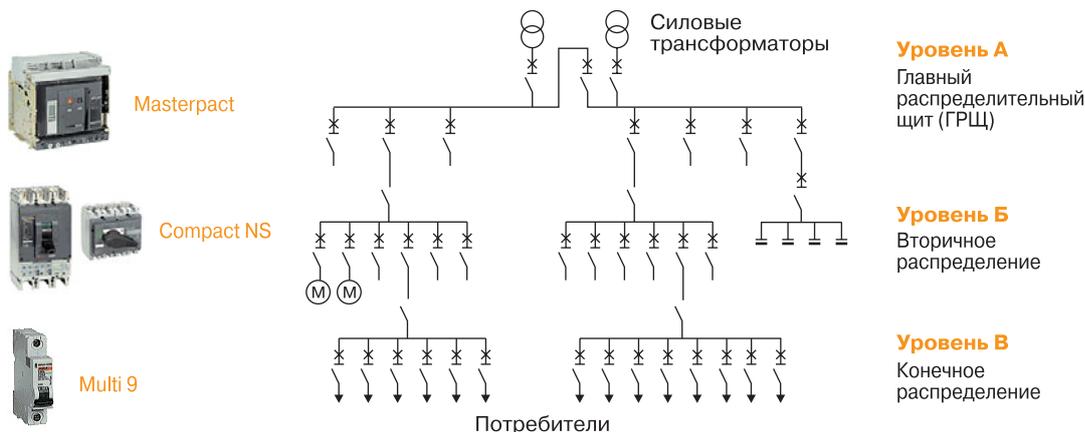
КООРДИНАЦИЯ ЗАЩИТ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

При проектировании и эксплуатации современных систем электроснабжения низкого напряжения (НН) наиболее важной задачей является обеспечение селективности аппаратов защиты, т.е. координации их рабочих характеристик при любых типах повреждения [1–4].

При решении этой задачи можно выделить три характерных уровня системы электроснабжения (см. рис. 1), каждый из которых имеет различные особенности и предъявляет свои требования к аппаратам защиты [3, 4].

Александр Саженков,
департамент маркетинга ЗАО «Шнейдер Электрик»

Рис. 1.
Система электроснабжения низкого напряжения



УРОВЕНЬ А. ГЛАВНЫЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ЩИТ (ГРЩ)

ГРЩ является наиболее важной частью сети НН, которой свойственны:

- высокие требования к бесперебойности электроснабжения, так как ложное срабатывание аппарата на этом уровне приводит к отключению большого числа потребителей;
- относительно высокие значения токов короткого замыкания (КЗ) в силу близости к источнику питания;
- большие номинальные токи, так как вся нагрузка нижерасположенной сети питается от секций ГРЩ.

На этом уровне в качестве вводных аппаратов наиболее часто применяются нетокоограничивающие воздушные автоматические выключатели (англ. Air Circuit Breakers – ACB). Эти аппараты согласно ГОСТ Р 50030.2 и МЭК 60947.2 относятся к категории применения «Б», для которой нормируется величина кратковременно допустимого сквозного тока КЗ (I_{cw} , кА действ. знач.). Это позволяет данным аппаратам срабатывать с заданной выдержкой времени, которая устанавливается на блоке контроля и управления. Задача производителя при этом заключается в том, чтобы автоматический выключатель категории «Б» имел значение I_{cw} , близкое или равное значению предельной отключающей способности (I_{cu} , кА действ. знач.), т.е. чтобы он обеспечивал временную селективность с нижестоящими аппаратами при токах КЗ вплоть до значения своей предельной отключающей способности.

При этом не менее важно, чтобы рабочая отключающая способность аппарата (I_{cs} , кА действ. знач.) была равна предельной (I_{cu}), т.е. $I_{cs} = 100\%I_{cu}$. Это позволяет аппарату не менее трех раз отключать ток короткого замыкания, равный предельной отключающей способности автоматического выключателя.

Всем этим особенностям и требованиям в полной мере удовлетворяют аппараты серии Masterpact NT и NW торговой марки Merlin Gerin компании Schneider Electric, которые уже на протяжении многих лет заслуженно считаются аппаратами номер один в мире. Большинство их модификаций, в частности, N1 и H1 имеют характеристики $I_{cw} = I_{cs} = I_{cu}$, это позволяет им реализовать все самые жесткие требования на уровне ГРЩ.

В некоторых случаях необходимо, чтобы близкие короткие замыкания относительно вводных аппаратов (например, КЗ на сборных шинах ГРЩ) отключались ранее, чем установленная на вводном аппарате выдержка времени защиты от КЗ. В этом случае компания Schneider Electric предлагает использовать так называемую «логическую» селективность, которая реализуется посредством передачи информации по контрольному проводу. Этот провод соединяет аппараты, охваченные «логической селективностью». В аварийном режиме выключатель, расположенный выше повреждения, обнаруживает его и посылает сигнал блокировки на верхний уровень, т.е. вышестоящему выключателю. В этом случае вышестоящий аппарат будет работать с заданной на расцепителе выдержкой времени. В случае, если вышестоящий автоматический выключатель не получает сигнал блокировки, например при КЗ на шинах ГРЩ, он срабатывает мгновенно.

Таким образом, применяемые на ГРЩ вводные аппараты Masterpact категории «Б» обеспечивают временную селективность при токах КЗ вплоть до своей предельной отключающей способности, имеют функцию логической селективности и характеристику $I_{cs} = I_{cu}$.

УРОВЕНЬ Б. ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ЦИТЫ (ВТОРИЧНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ)

Особенностями этого уровня системы электроснабжения НН по-прежнему являются повышенные требования к бесперебойности питания, высокие значения ожидаемых токов КЗ, необходимость снижения тепловых и электродинамических воздействий токов КЗ на электроустановку (особенно на кабельные линии). Поэтому на этом уровне наиболее часто применяются токоограничивающие

автоматические выключатели в литом корпусе (англ. Moulded Case Circuit Breakers – MCCB), относящиеся, как правило, к категории «А».

В предложении компании Schneider-Electric к аппаратам MCCB относится серия Compact NS, имеющая ряд принципиальных технических преимуществ по сравнению с аналогичными аппаратами других производителей (см. далее).

УРОВЕНЬ В. КОНЕЧНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Основными требованиями этого уровня, как правило, являются обеспечение эффективного токоограничения и электробезопасность (т.к. аппараты этого уровня наиболее часто защищают непосредственно конечного потребителя). Поэтому на этом уровне применяются модульные токоограничивающие автоматические выключатели (англ. MCB), относящиеся к категории «А».

В предложении компании Schneider Electric к аппаратам MCB относится серия Multi 9, представляющая собой очень широкое предложение (автоматические выключатели, УЗО, дифференциальные автоматические выключатели, устройства управления освещением и многое другое) и имеющая ряд запатентованных технических решений аналогично сериям Masterpact и Compact NS.

КООРДИНАЦИЯ ЗАЩИТ

Как уже отмечалось выше, между аппаратами категории «Б» на ГРЩ и нижестоящими аппаратами наиболее часто используется временная (реже логическая) селективность. Этот вид селективности обеспечивается за счет смещения или сдвига время-токовых характеристик последовательно расположенных автоматических выключателей по оси времени (см. рис.2).

Селективность данного вида может быть проверена путем наложения время-токовых характеристик аппаратов или при помощи таблиц селективности. Последние представляют собой наглядный и удобный в использовании инструмент. Рассмотрим пример с применением таблиц селективности.

■ Пример 1.

Необходимо проверить обеспечение селективности между аппаратами Masterpact NT H1 630A Micrologic 2.0 и Compact NS 400N STR23SE. Для этого выполняются две простые операции:

- 1) В таблицах селективности находится рассматриваемое сочетание вышестоящего и нижестоящего аппаратов;
- 2) На пересечении соответствующего столбца и строки в таблице указывается результат:
 - «Т» означает полную селективность (т.е. селективность рассматриваемой пары аппаратов обеспечивается при токах КЗ вплоть до предельной отключающей способности нижестоящего аппарата $I_{cu} D2$);
 - «Число» означает, что селективность обеспечивается частично, т.е. только, если ожидаемый ток КЗ меньше указанного в таблице значения (согласно ГОСТ 50030.2, указываемое в таблице значение означает предельный ток селективности – I_s);
 - «пустая клетка» означает отсутствие селективности.

На рис.3. показано, что селективность между рассматриваемыми аппаратами является полной (Т – англ. Total).

Наиболее сложным видом координации защитных аппаратов является случай, когда рассматриваемая пара автоматических выключателей относится к токоограничивающим. В таком случае анализ селективности путем наложения время-токовых характеристик не дает точной и полной картины, так как при относительно высоких значениях тока КЗ кривые имеют так называемую зону неопределенности. В этой зоне, т.е. при высоких значениях токов КЗ, токоограничивающие аппараты могут находиться уже в «дуговой» зоне, т.е. их контакты за счет специальной конструкции будут отталкиваться для введения в цепь КЗ дополнительного сопротивления дуги и ограничения таким образом протекаемого тока КЗ.

Поэтому координация токоограничивающих аппаратов согласно МЭК 60947.2 (ГОСТ 50030.2) может быть гарантирована только производителем, который обязан проводить испытания и подтверждать таким образом этот тип координации. Результатом этих испытаний и гарантией обеспечения селективности между токоограничивающими аппаратами являются уже упомянутые ранее таблицы селективности. Рассмотрим пример для проверки селективности между токоограничивающими аппаратами Compact NS.

■ Пример 2.

Необходимо проверить обеспечение селективности между аппаратами Compact NS 400N с расцепителем STR23SE и Compact

Рис. 2. Временная селективность между последовательно расположенными автоматическими выключателями D1 и D2

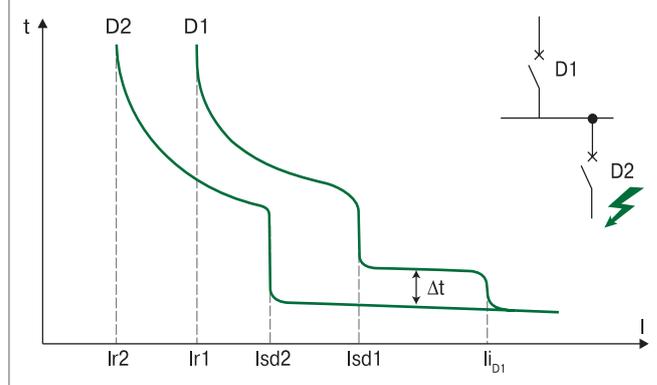


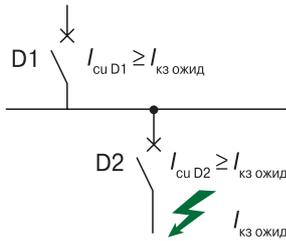
Рис. 3. Фрагмент таблицы селективности

| Вышестоящий аппарат | Masterpact NT H1–H2 Micrologic 2.0 I _{sd} : 10 I _r | | | | |
|------------------------------|--|------|------|------|------|
| | NT06 | NT08 | NT10 | NT12 | NT16 |
| Нижестоящий аппарат | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 |
| NS400N STR23SE STR53UE | 160 | T | T | T | T |
| | 200 | T | T | T | T |
| | 250 | T | T | T | T |
| | 320 | T | T | T | T |
| | 400 | T | T | T | T |

Рис. 4. Таблица селективности для аппаратов Compact NS 400 STR и Compact NS 100 TM-D

| Вышестоящий аппарат | NS400N/H/L STR23SE – STR53UE | | | | | |
|---------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 400 | 160 | 200 | 250 | 320 | 400 |
| Нижестоящий аппарат | 16 | T | T | T | T | T |
| NS100N TM-D | 25 | T | T | T | T | T |
| | 32 | T | T | T | T | T |
| | 40 | T | T | T | T | T |
| | 50 | T | T | T | T | T |
| | 63 | T | T | T | T | T |
| | 80 | | T | T | T | T |
| | 100 | | | T | T | T |

Рис. 5. Условия применения таблиц селективности



NS 100N с расцепителем TM-100D. Аналогично примеру 1, на рис.4. показана таблица селективности для рассматриваемой пары аппаратов.

Из данной таблицы следует, что селективность между двумя токоограничивающими аппаратами Compact NS 400 и NS 100 является полной (Т). При этом важно отметить, что рассмотренные в примерах 1 и 2 таблицы селективности могут быть применимы только в том случае, если рассматриваемые аппараты выбраны при условиях:

$$I_{CU D1} \geq I_{K3 \text{ ожид.}} \quad (1)$$

$$I_{CU D2} \geq I_{K3 \text{ ожид.}} \quad (2)$$

т.е. если их предельная отключающая способность выше ожидаемого тока КЗ (см. рис.5).

Таким образом, вышеуказанные таблицы селективности применяются в том случае, если аппараты D1 и D2 выбраны при условиях (1) и (2), а предел селективности равен предельной отключающей способности нижестоящего аппарата ($I_{CU D2}$) в случае, если в таблице указана буква «Т».

КАСКАДНОЕ СОЕДИНЕНИЕ / РЕЗЕРВНАЯ ЗАЩИТА

Рис. 6. Увеличенная отключающая способность нижестоящих аппаратов (Multi 9 серия С60) за счет каскадного соединения с вышестоящим аппаратом Compact NS 100N

| Аппарат D1 | NS 100N (36 kA) | кА (увелич.) |
|-------------|-----------------|--------------|
| Аппарат D2 | | |
| С60а (5кА) | | 15 |
| С60N (10кА) | | 25 |
| С60H (15кА) | | 25 |

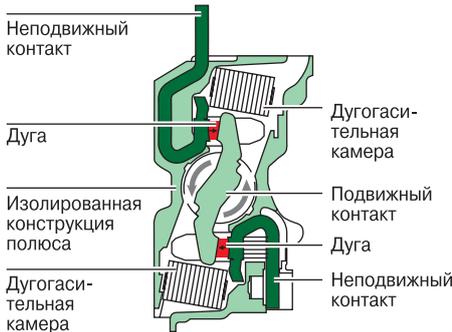
В то же время стандарт МЭК 60947.2 (ГОСТ 50030.2) допускает выбирать нижестоящий автоматический выключатель D2 с предельной отключающей способностью ($I_{CU D2}$) ниже, чем ожидаемый ток КЗ, если он расположен за токоограничивающим аппаратом D1. В таком случае вышестоящий аппарат D1 ограничивает большие токи КЗ за счет введения сопротивления дуги (напряжения дуги) в цепь КЗ, т.е. снижает протекаемый ток и помогает нижестоящему аппарату D2 отключить повреждение. Таким образом, за счет дополнительного токоограничения вышестоящего аппарата D1 отключающая способность нижестоящего аппарата D2 увеличивается. Этот принцип каскадного соединения получил название согласно ГОСТ 50030.2 «Резервная защита» (фр. filiation, англ. back-up). Увеличенное значение отключающей способности нижестоящего аппарата D2 указывается производителем в таблицах каскадного соединения (см. рис. 6).

Очевидно, что применение этого принципа позволяет значительно снизить стоимость аппаратов отходящих линий, так как их требуемая отключающая способность ($I_{CU D2}$) оказывается меньшей. Принцип каскадного соединения автоматических выключателей (фр. filiation, англ. back-up) предлагается в настоящее время большинством ведущих электротехнических компаний. Но к сожалению ни одна из них не может гарантировать селективной работы аппаратов при использовании данного принципа. Это объясняется тем, что при применении традиционных токоограничивающих аппаратов в большинстве случаев отключение тока КЗ осуществляется вышестоящим аппаратом D1, который, как отмечалось выше, отбрасывает контакты и вводит дополнительное сопротивление дуги в цепь КЗ для «оказания помощи» нижестоящему аппарату (D2) отключить ток короткого замыкания.

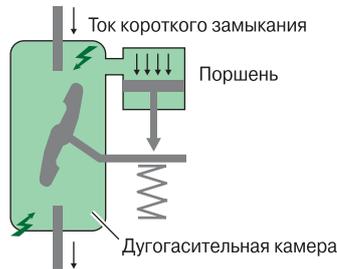
Применение уникального принципа рото-активного размыкания силовых контактов в серии токоограничивающих аппаратов Compact NS позволяет решить данную проблему. Ниже приводится описание этого принципа (см. рис. 7):

Рис. 7. Принцип рото-активного размыкания аппаратов Compact NS

Рото-активное размыкание: отталкивание контактов



Рото-активное размыкание: отключение давлением



Каждый полюс выключателя имеет изолированную конструкцию в виде оболочки. Внутри нее при возникновении определенного значения тока КЗ подвижный контакт начинает поворачиваться за счет электромагнитных сил отталкивания между контактами. При этом создаются две последовательные дуги.

Пружинно-поршневой механизм использует давление, которое создается энергией дуги. Когда давление достигает определенного порога (примерно при $25 I_{НОМ}$), происходит быстрое, «рефлексное» отключение спустя примерно 3 мс после отталкивания контактов.

Если давление не достигает этого порога, то его оказывается недостаточным для «рефлексного» отключения, но сопротивление двух последовательных дуг при этом ограничивает ток короткого замыкания.

Таким образом, вышестоящий аппарат (D1) способен помогать нижестоящему аппарату (D2) отключить ток короткого замыкания, не отключаясь при этом.

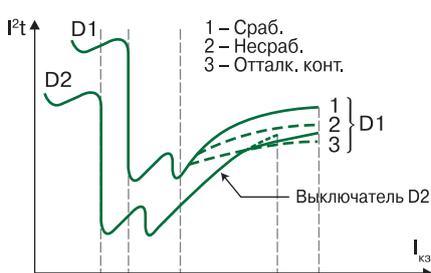
Наглядно отобразить этот принцип можно также при помощи кривых энергии I^2t последовательно расположенных аппаратов в цепи КЗ (см. рис. 8).

Из рисунка 8 видно, что в процессе токоограничения участвует не только нижестоящий аппарат D2, но и вышестоящий аппарат D1 (см. кривая «отт. конт.»). Однако отключения аппарата D1 не происходит, так как кривая «несраб.» оказывается выше.

Таким образом, применение уникальных технологий в аппаратах Compact NS, позволяет одновременно решить две задачи, которые на первый взгляд кажутся противоречивыми:

- 1) обеспечить очень эффективное токоограничение, позволяющее значительно улучшить условия термической и динамической стойкости кабельных линий, шин и т.д.;

Рис. 8. Кривые энергии последовательно расположенных аппаратов в цепи КЗ



- 2) надежно обеспечить селективность с нижестоящими аппаратами как при стандартном подходе, когда $I_{CU D1}$ и $I_{CU D2}$ больше I_{K3} ожида. (см. пример 1 и пример 2), так и при использовании «каскадного соединения» (фр. filiation, англ. back-up), когда $I_{CU D2} < I_{K3}$ ожида.

СЕЛЕКТИВНОСТЬ ПРИ КАСКАДНОМ СОЕДИНЕНИИ

Важно отметить, что применение принципа каскадного соединения будет эффективным с экономической точки зрения только в случае, если при этом гарантируется селективность. В противном случае, как это имеет место у прочих производителей, этот экономический эффект сводится на нет, так как при срабатывании вышестоящего аппарата может быть нанесен значительный ущерб от перерыва электроснабжения.

Рассмотрим пример реализации принципа каскадного соединения и обеспечения селективности при этом.

■ Пример 3.

В распределительном щите (см. рис. 9) установлены: вводной автоматический выключатель – Compact NS 160N с расцепителем TM-160D ($I_{CU} = 36$ кА); аппарат защиты отходящей линии – Multi 9 C60N ($I_{CU} = 10$ кА); расчетный ток КЗ составляет 25 кА.

Необходимо проверить обеспечение селективности между данными аппаратами при использовании каскадного соединения.

Для решения данной задачи должны использоваться специальные «дробные» таблицы селективности при каскадном соединении, предлагаемые только компанией Schneider Electric (торговая марка Merlin Gerin). В отличие от стандартных таблиц селективности (см. пример 1 и пример 2), в «дробных» таблицах указываются два значения через дробь (см. рис. 10).

Левое значение указывает предельный ток селективности (I_s), т.е. до какого значения тока КЗ обеспечивается селективность. Правое значение означает предельную отключающую способность нижестоящего аппарата ($I_{CU D2}$), усиленную за счет дополнительного токоограничения вышестоящего аппарата Compact NS.

Так, для аппарата Multi 9 C60N 16А, имеющего отключающую способность 10 кА, за счет принципа каскадного соединения она доводится до значения 25 кА (увеличение в 2,5 раза), и при этом обеспечивается селективность с вышестоящим Compact NS 160N (предельный ток селективности также равен 25 кА).

Таким образом в сети с ожидаемым током КЗ 25 кА, может быть использован аппарат Multi 9 с отключающей способностью 10 кА.

При использовании аппаратов других производителей в этом случае понадобилось бы использовать нижестоящий аппарат с отключающей способностью 25 кА, так как для обеспечения селективности у других производителей необходимо выполнение условия $I_{CU D1}$ и $I_{CU D2} \geq I_{K3}$ ожида.

Таким образом, аппараты Masterpact, Compact NS и Multi 9 компании Schneider Electric удовлетворяют всем самым жестким требованиям, которые предъявляются на каждом уровне системы электроснабжения низкого напряжения. При этом принцип каскадного соединения с одновременным обеспечением селективности позволяет значительно снизить совокупную стоимость проекта, чего, к сожалению, не могут предложить другие производители.

Получить более подробную информацию по координации защит можно на семинарах, которые будут проводить специалисты Schneider Electric в рамках двух крупнейших специализированных выставок 2006 года: «Энергетика и электротехника» (май, Санкт-Петербург) и «Электрик» (июнь, Москва).

Рис. 9. Иллюстрация к примеру 3

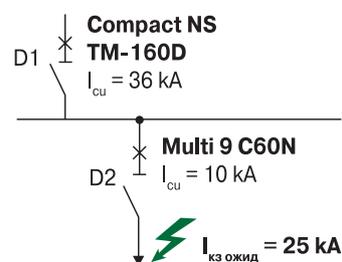


Рис. 10. Таблицы селективности при каскадном соединении аппаратов

| Вышестоящий аппарат | | NS160N 36 кА | | |
|---------------------|-------|-----------------|-------|-------------|
| Нижестоящий аппарат | | TM-D | | |
| | | Ном. ток (А) | 80 | 100/125/160 |
| C60а | 5 кА | ≤16 | 15/15 | 15/15 |
| | | 20 | 15/15 | 15/15 |
| | | 25 | 15/15 | 15/15 |
| | | 32 | 15/15 | 15/15 |
| | | 40 | 15/15 | 15/15 |
| C60N | 10 кА | ≤16 | 25/25 | 25/25 |
| | | 20 | 25/25 | 25/25 |
| | | 25 | 25/25 | 25/25 |
| | | 32 | 15/25 | 25/25 |
| | | 40 | 15/25 | 25/25 |
| | | 50 | 15/25 | 25/25 |
| C60H | 15 кА | ≤16 | 30/30 | 30/30 |
| | | 20 | 30/30 | 30/30 |
| | | 25 | 30/30 | 30/30 |
| | | 32 | 15/30 | 30/30 |
| | | 40 | 15/30 | 30/30 |
| | | 50 | 15/30 | 30/30 |
| C60L | 25 кА | ≤16 | 30/30 | 30/30 |
| | | 20 | 30/30 | 30/30 |
| | | 25 | 30/30 | 30/30 |
| | | 32 | 15/30 | 30/30 |
| | | 40 | 15/30 | 30/30 |
| | | 50 | 15/30 | 30/30 |
| | 15 кА | 50 | 15/30 | 30/30 |
| | | 63 | | 30/30 |
| | | | | |

ЛИТЕРАТУРА

1. Электрические и электронные аппараты / Под ред. д.т.н. Ю.К. Розанова. – М.: Информэлектро, 2001.
2. Беляев А.В. Выбор аппаратуры защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. – Л.: Энергоатомиздат, 1988.
3. Координация защит низкого напряжения // Руководство по низкому напряжению, № 5. – Шнейдер Электрик, 2005.
4. Roland Talon. Electrical installation guide /According to IEC International Standards. – Schneider Electric, 2005.

