

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ ДАЛЬНЕГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ В СЕТЯХ 0,4 кВ

Ведущий инженер
отдела системотехники
ООО «НТЦ «Механотроника»
ИВАНОВ И.В.

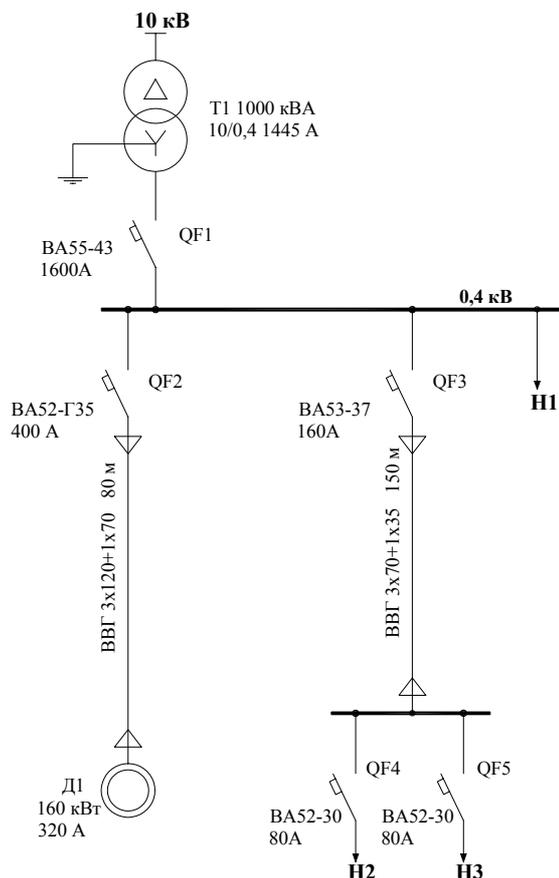
Начальник отдела системотехники,
ООО «НТЦ «Механотроника»
ПИРОГОВ М. Г.

Электрические сети 0,4 кВ являются наиболее распространенными, так как являются конечным узлом в передачи электрической энергии от источника к потребителю и применяются на всех промышленных и сельскохозяйственных предприятиях, электростанциях и подстанциях, надежность функционирования которых прямо зависит от надежности сети.

До недавнего времени проблема дальнего резервирования сетей 0,4кВ не имела качественного решения. Осуществить резервирование теми же методами что и в высоковольтной сети не удавалось из-за очень существенного снижения тока короткого замыкания (далее КЗ) по мере удаления точки КЗ от источников питания. Появление микропроцессорных устройств релейной защиты позволило решить проблему дальнего резервирования в сетях 0,4 кВ за счёт реализации нового алгоритма, в основе которого заложен принципиально новая идея ранее не существовавшая в мировой практике.

Рассмотрим проблему дальнего резервирования на примере выбора уставок срабатывания защиты вводного выключателя подстанции 10/0,4 кВ 1000 кВА. Выбор уставок срабатывания защит производится в соответствии с рекомендациями [1] (БЕЛЯЕВ А. В.).

Данные электроустановки:



Трансформатор Т1:

Стр=1000 кВА, $U_k=5\%$, $I_{ном}=1445$ А;

Двигатель Д1:

$P_{дв}=160$ кВт, $I_{ном}=320$ А, $I_{пуск}=2240$ А, $t_{пуск} = 3$ сек;

Мощность Н1: $S_{н1}=360$ кВА, $I_{ном}=520$ А;

Мощность Н2: $S_{н2}=50$ кВА, $I_{ном}=72$ А;

Мощность Н3: $S_{н2}=50$ кВА, $I_{ном}=72$ А;

Нагрузка Н1, Н2, Н3 не содержит в своем составе электродвигатели.

Выбор уставок автоматического выключателя (QF2) защиты электродвигателя.

Токовая отсечка. Токовую отсечку выключателя отстраивают от пускового тока электродвигателя по выражению:

$$I_{c.o} \geq 1.05 \cdot K_n \cdot I_{пуск}, \quad (1)$$

где K_n – коэффициент надежности отстройки отсечки от пускового тока электродвигателя, принимается равным 1,5;

1,05 – коэффициент учитывающий, что в нормальном режиме напряжение может быть больше на 5% выше номинального напряжения электродвигателя.

Уставка срабатывания токовой отсечки составляет $I_{c.o.} \geq 3528$ А.

Выдержка времени срабатывания является минимальной и составляет 0,1 с.

Защита от перегрузки. Ток срабатывания защиты от перегрузки определяется из условия возврата защиты после окончания пуска или самозапуска электродвигателя по выражению:

$$I_{c.n} = \frac{K_n}{K_v} \cdot I_{ном}, \quad (2)$$

где K_n – коэффициент надежности, учитывающий запас по току, неточности настройки и разброс срабатывания защиты;

K_v – коэффициент возврата защиты;

$I_{ном}$ – номинальный ток электродвигателя.

Для автоматических выключателей серии ВА с полупроводниковым расцепителем БПР $K_v=0,97 \div 0,98$, $K_n=1,19 \div 1,32$. По выражению (2) находим $I_{c.n.}=1,25 \cdot I_{ном}=400$ А.

Время срабатывания защиты от перегрузки принимается из условия несрабатывания защиты при пуске или самозапуске электродвигателя и определяется по выражению:

$$t_{c.n} \geq (1,5 \div 2) + t_{пуск}, \quad (3)$$

где $t_{c.n}$ – время срабатывания защиты при токе равном пусковому;

$t_{пуск}$ – длительность пуска электродвигателя.

Время срабатывания защиты от перегрузки принимаем $t_{c.n}=4,5$ секунды.

Выбор уставок срабатывания защит автоматических выключателей QF4, QF5.

Токовая отсечка. В виду отсутствия на данном присоединении двигательной нагрузки, уставка срабатывания отсечки определяется по следующему выражению:

$$I_{c.o.} \geq K_n \cdot I_{раб.макс}, \quad (4)$$

где K_n – коэффициент надежности, для автоматических выключателей серии ВА составляет 1,5;

$I_{раб.макс}$ – максимальный рабочий ток присоединения, в нашем случае принимаем номинальный ток.

По выражению (4) находим $I_{c.o.}=1,5 \cdot I_{раб.макс}=108$ А.

Согласование с отсечками выключателей отходящих линий не производим в виду их отсутствия.

Уставка времени срабатывания токовой отсечки выбирается минимальной и составляет 0,1 с.

Защита от перегрузки. На данных присоединениях защита от перегрузки не используется, в связи с этим установлены автоматические выключатели имеющими только электромагнитные расцепители.

Выбор уставок срабатывания защит автоматических выключателей QF3.

Токовая отсечка. Определяется по приводимым ниже условиям, из которых принимается наибольшее полученное значение.

1 условие: Несрабатывание при максимальном рабочем токе, определяется по выражению (4) и составляет $I_{c.o}=1,5 \cdot I_{раб.макс}=216 \text{ А}$.

2 условие: Согласование с отсечками выключателей отходящих линий определяется по выражению:

$$I_{c.o} \geq K_{н.с} \cdot I_{c.o.л}, \quad (5)$$

где $K_{н.с}$ – коэффициент надежности согласования, принимается равным 1,4;

$I_{c.o.л}$ – наибольший из токов срабатывания отсечек выключателей отходящих линий, и составляет 108 А;

По выражению (5) ток срабатывания отсечки составляет $I_{c.o} = 151 \text{ А}$. Исходя из полученных результатов 1 и 2 условия принимаем наибольшее значение $I_{c.o}=216 \text{ А}$.

Выдержка времени срабатывания отсечки определяется по выражению:

$$t_{c.o} \geq t_{c.o.л} + \Delta t, \quad (6)$$

где $t_{c.o.л}$ – выдержка времени срабатывания отсечки выключателя отходящей линии;

Δt – ступень селективности, принимается равной 0,15с.

Уставка выдержка времени срабатывания токовой отсечки составляет $t_{c.o.}=0,25 \text{ с}$.

Защита от перегрузки. На данном присоединении защита от перегрузки не используется.

Выбор уставок срабатывания защит автоматических выключателей QF1.

Токовая отсечка. Выбор уставки срабатывания отсечки вводного автоматического выключателя определяется при полной нагрузке секции и электродвигателя с наибольшим пусковым током:

$$I_{c.o} \geq K_{н} \cdot \left(\sum_i^{n-1} I_{РАБ.МАКС.i} + I_{ПУСК.МАКС} \right), \quad (7)$$

где $K_{н}$ – коэффициент надежности, принимается 1,5;

$\sum_i^{n-1} I_{РАБ.МАКС.i}$ - сумма максимальных рабочих токов электроприемников, кроме двигателя

с наибольшим пусковым током;

$I_{пуск.макс}$ – наибольший пусковой ток.

По выражению (7) ток срабатывания отсечки вводного выключателя составляет $I_{c.o} = 4356 \text{ А}$.

Согласование с отсечками выключателей отходящих линий определяется по выражению (5) и составляет $I_{c.o} = 4939 \text{ А}$.

Из полученных значений выбираем максимальное $I_{c.o} = 4939 \text{ А}$.

Выдержка времени срабатывания отсечки определяется по выражению (6) и составляет $t_{c.o.}=0,4\text{с}$.

Защита от перегрузки. Уставка защиты от перегрузки рассчитывается, так же как и для электродвигателя (2), однако вместо $I_{ном}$ (номинальный ток двигателя) учитывается максимальный рабочий ток. Учитывая допустимую перегрузку трансформатора 1,2 максимальный рабочий ток составляет $I_{раб.макс} = 1,2 \cdot I_{н.т} = 1734 \text{ А}$.

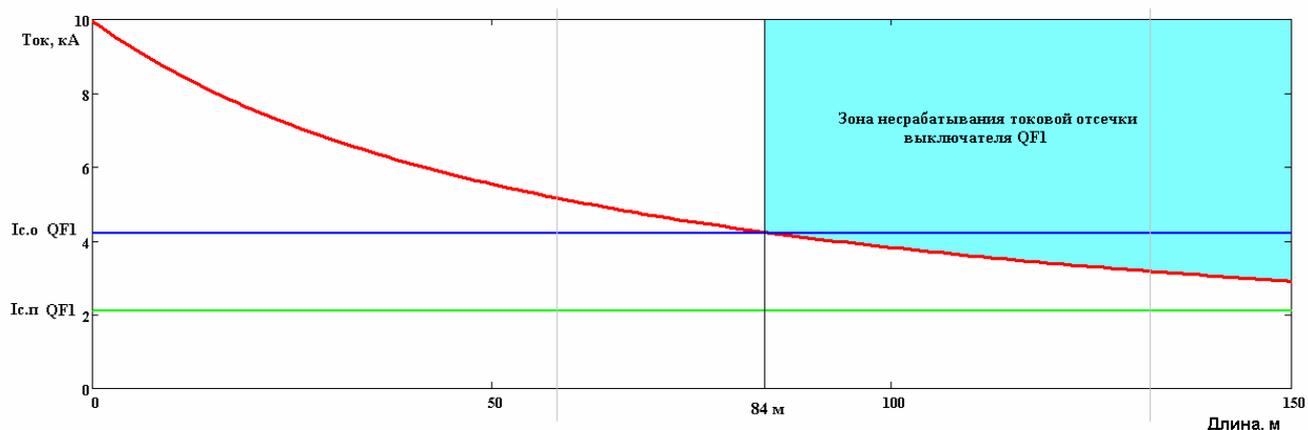
По выражению (2) уставка срабатывания защиты от перегрузки составляет $I_{с.п.}=1,25 \cdot I_{раб.макс} = 2167,5 \text{ А}$.

Время срабатывания защиты принимается в 2 раза больше длительности пуска электродвигателей, и составляет $t_{c.n}=2 \cdot t_{пуск}=6с$.

Приведем таблицу уставок срабатываний защит.

Выключатель	Ис.о, А	tc.о, сек	Ис.п, А	tc.п, сек
QF1	4939	0,4	2167,5	6
QF2	3528	0,1	400	4,5
QF3	151	0,25	-	-
QF4, QF5	108	0,1	-	-

Рассчитав токи короткого замыкания [2], представим их в виде графика, где кривая указывает значение тока дугового двухфазного короткого замыкания на кабельной линии ВВГ 3x70+1x35 по мере удаления от шин подстанции.



Значения Ис.о и Ис.п соответствуют значениям уставок срабатывания защит вводного выключателя QF1. **На графике видно, что токовая отсечка вводного выключателя QF1, начиная с 84 метров не осуществляют резервирование защит отходящего выключателя QF3.** Защита по перегрузке так же не удовлетворяет выбору проводников по условиям нагрева при коротком замыкании [4] и нарушает требования п.1.4.16 ПУЭ [3]. Это означает, что при возникновении короткого замыкания вне зоны резервирования защиты вводного выключателя QF1 и при отказе отходящего выключателя QF3 произойдет термическое повреждение кабеля по всей его длине, а в наихудших случаях к пожару в кабельных каналах.

Таким образом, при возникновении короткого замыкания вне зоны резервирования защиты вводного выключателя и при отказе отходящего выключателя QF3 приведет к повреждению кабеля по всей длине, а в наихудших случаях к возможному пожару в кабельных каналах (что в практике часто имеет место).

Вышеуказанный пример расчёта дан для простой схемы, в которой преобладает нагрузка с малой кратностью пускового тока. В более сложных случаях (наличие групп электродвигателей средней и большой мощности) приведет к увеличению уставок вводного выключателя и как следствие, резкому сокращению зоны дальнего резервирования (до 60-70 метров).

Существующие автоматические выключатели различных производителей **не способны** решить эту проблему, так как принцип действия их защит одинаков – сравнение действующего значения тока с уставкой, которая должна быть отстроена от токов пуска и самозапуска. Основным виновником появления зон, в которых **защита вводного выключателя не способна** резервировать отходящие выключатели является резкое, в

отличие от сетей средних и высоких напряжений, снижение токов коротких замыканий (КЗ) по мере удаления от источника питания, а также наличие больших пусковых токов электродвигателей.

Защита дальнего резервирования должна быть построена с учетом этих явлений, и выполняться на принципах точно определяющих сам факт возникновения КЗ, а не факт превышения уставки. Благодаря появлению блоков цифровой релейной защиты это стало осуществимо.

Впервые алгоритм дальнего резервирования отказов защит выключателей был реализован в блоках БМРЗ-0,4 в 2000 году. **Авторы разработки: Беляев А. В., Эдлин М. А.** Многолетний опыт эксплуатации показал, что ДР в БМРЗ-0,4 надёжно срабатывает при всех видах коротких замыканий, достоверно определяет и не срабатывает при пусках или самозапущах электродвигателей, а также при повреждениях в высоковольтной сети. Алгоритм ДР основан на анализе переходного процесса возникающего при КЗ, пусках или самозапущах электродвигателей. В основу алгоритма заложен анализ активного тока, при возникновении КЗ в кабельных линиях, а в случае пуска или самозапуща электродвигателей реактивного. Отличительными особенностями алгоритма ДР является анализ не абсолютных величин токов, а их производных, а это существенно увеличивает зоны резервирования, ограниченные минимальным диапазоном измерения цифрового устройства и позволяет с высокой точностью определить границу зоны дальнего резервирования вне зависимости от нормируемых погрешности измерений. Принцип функционирования данного алгоритма требует отдельного детализированного рассмотрения в отдельной статье.

На сегодняшний день БМРЗ-0,4 это единственное устройство, выполняющее дальнейшее резервирование отказов защит выключателей 0,4 кВ в мире. Блоки БМРЗ-0,4 широко применяются на объектах нефтегазовой промышленности как комплексное решение по выполнению не только защиты, но и автоматики подстанции. В процессе эксплуатации зарекомендовали себя как надежное и качественное решение.

ВЫВОДЫ:

1. В каждом проектном или эксплуатационном случае, требуется проверка зон дальнего резервирования для предотвращения пожаров в кабельных каналах. Проверку требуется проводить для всех схем с длинами кабельных линий выше 60 метров;
2. Существующие модели автоматических выключателей не могут обеспечить дальнейшее резервирование по принципу действия защиты;
3. Многолетний опыт эксплуатации доказал, что применяемый в блоках БМРЗ-0,4 алгоритм ДР позволяет решить актуальную проблему за счёт применения принципиально нового алгоритма.

Список литературы

1. Беляев А. В. «Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. – СПб.: ПЭИПК, 2008 г.
2. ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках. Методика расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. – М.: Издательство межгосударственных стандартов, 1994.
3. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб и доп. – М.: Главгосэнергонадзор России, 1998. – 43 с.

4. Циркуляр № Ц-02-98(Э) «О проверке кабелей на возгорание при воздействии тока короткого замыкания». М.: РЭО «ЕЭС России», 1998.