

УДК 621.313; 621.316

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЗАЩИТЫ МИНИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В.А. Шабанов¹, В.Ю. Алексеев², Р.З. Юсупов³, А.Р. Валишин⁴, С.Е. Клименко⁵, В.Д. Кондрацкий⁶

¹ кандидат технических наук, профессор, ² кандидат технических наук, доцент, ³ аспирант, ⁴ директор,

⁵ начальник отдела энергетического аудита, ⁶ ведущий инженер

^{1, 2, 3} ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,

⁴ ООО Научно-Производственный Центр «БалтЭнергоРесурс» (Санкт-Петербург),

^{5, 6} ООО Научно-Производственный Центр «УралЭнергоРесурс» (Уфа), Россия

***Аннотация.** В статье проведен анализ защит минимального напряжения, применяющихся на нефтеперекачивающих станциях, и рассмотрены проблемы их совершенствования.*

***Ключевые слова:** нефтеперекачивающая станция, защита минимального напряжения, обеспечение селективности, автоматическое включение резерва.*

Технология перекачки нефти по магистральным нефтепроводам предъявляет жесткие требования к надежности электроснабжения нефтеперекачивающих станций (НПС) [9]. Одним из основных средств обеспечения бесперебойности процесса перекачки нефти при нарушениях электроснабжения является защита минимального напряжения (ЗМН).

Защиты минимального напряжения на промышленных предприятиях могут быть либо самостоятельными защитами, либо выполнять функции пускового органа автоматического включения резерва (АВР) [1, 6]. На нефтеперекачивающих станциях ЗМН является самостоятельной защитой и выполняется двухступенчатой [2]. Первая ступень защиты минимального напряжения (ЗМН-1) выявляет факт потери питания от одного из внешних источников электроснабжения и действует на отключение выключателя ввода потерявшей питание секции шин технологического ЗРУ-6(10) кВ. При успешном и быстром срабатывании ЗМН-1 и АВР перерыв электроснабжения будет кратковременным и технологический процесс перекачки нефти не прерывается. Для сохранения технологического процесса перекачки нефти при длительных перерывах электроснабжения, обусловленных отказом ЗМН-1 или отказом АВР секционного выключателя, применяется автоматическое включение технологического резерва (технологическое АВР). Пуск технологического АВР производится по факту отключения потерявшего питание электродвигателя рабочего насосного агрегата второй ступенью ЗМН, которая обозначается ЗМН-2.

Использование типовой схемы ЗМН применительно к НПС сталкивается с рядом проблем [3, 4, 5, 7, 8]. Часть из них широко известны и решаются простыми техническими средствами. Другие исследованы мало. Перечислим их.

1. Вторая ступень защиты ЗМН-2 может срабатывать с недопустимо большим временем.
2. Возможно несинхронное восстановление напряжения на шинах ЗРУ-6(10) кВ при отключении коротких замыканий (КЗ) в сети предприятия.
3. Короткие замыкания в питающей сети могут привести при их отключении к несинхронному восстановлению напряжения питания синхронных двигателей (СД).
4. Алгоритм ЗМН не зависит от места КЗ в питающей сети. Это может привести к увеличению времени восстановления электроснабжения.

Именно от разработки технических решений по преодолению перечисленных проблем зависят перспективы использования ЗМН на подстанциях с крупными электродвигателями. Рассмотрим их подробнее.

Первая проблема. Вторая ступень защиты ЗМН-2 может срабатывать с недопустимо большим временем. Обусловлен этот недостаток тем, что время срабатывания ЗМН-2 зависит от времени снижения остаточного напряжения на потерявшей питание секции шин до напряжения срабатывания. Это время может изменяться от 1-2 с до 5-10 с и более. Для сохранения технологического режима перекачки ЗМН-2 должна обеспечить отключение выключателя электродвигателя раньше, чем сработает защита трубопровода по давлению. Однако, если время снижения напряжения превысит 3-5 с, то время срабатывания ЗМН-2, при уставке по времени 5-7 с, может превысить время срабатывания защиты по давлению. При этом может произойти отключение насосных агрегатов и нарушение бесперебойности перекачки нефти.

Поэтому актуальной задачей является разработка способов ускорения действия второй ступени ЗМН.

Вторая проблема. Причина ее в том, что при блокировке ЗМН-1 от МТЗ ввода возможно несинхронное восстановление напряжения на шинах ЗРУ-6(10) кВ. Электродвижущая сила СД E_d в процессе его выбега непрерывно изменяется по величине и фазе относительно напряжения сети U_c . При этом угол δ между векторами U_c и E_d непрерывно изменяется. Если напряжение питания восстановится при $\delta=180^\circ$, то ток в обмотке статора СД

может превысить допустимое для двигателя значение. Для обеспечения безопасности СД при АВР контролируется величина ЭДС СД. Для этого используется пуск АВР с контролем величины остаточного напряжения на секции шин, потерявшей питание.

Однако на практике возможны режимы потери питания с последующим самозапуском, когда нет возможности контролировать величину ЭДС СД и/или угол δ . Например, при близком КЗ на одной из линий, отходящих от шин ЗРУ-6(10) кВ НПС, напряжение на шинах падает практически до нуля, и нет возможности измерить генераторную ЭДС или угол рассогласования.

Критическое время перерыва питания, за которое угол δ изменится на величину, близкую к 180° , может быть от $T_{кр} = 0,20-0,27$ с и выше. Если при КЗ время перерыва питания будет больше критического значения, то угол δ изменится на величину, близкую к 180° . Выдержка времени МТЗ поврежденного присоединения составляет 0,5 с, что больше критического значения. При этом возможна несинхронная подача напряжения питания на СД с углом рассогласования δ близким к 180° .

Поэтому актуальным является выполнение исследований по обеспечению безопасности СД при отключении КЗ в сети предприятия.

Третья проблема. Короткие замыкания в питающей сети, также, как и КЗ в сети предприятия, могут привести при их отключении к несинхронному восстановлению напряжения питания СД. Проявляется этот недостаток при КЗ на элементах питающей сети, не участвующих непосредственно в электроснабжении НПС. После отключения поврежденного присоединения в питающей сети своей защитой электроснабжение НПС восстанавливается. Если КЗ было в зоне действия второй ступени защиты поврежденных элементов, то угол расхождения по фазе ЭДС СД и напряжения в сети может достигнуть опасных значений, близких к 180° , что может вызвать протекание по обмотке статора повышенного тока, недопустимого для СД. Эта проблема не имеет пока удовлетворительного решения и требует дополнительных исследований.

Четвертая проблема. Алгоритм срабатывания типовых схем ЗМН на НПС не зависит от места КЗ. В том числе от места КЗ в питающей сети. При этом ЗМН работает с одним и тем же алгоритмом при КЗ в любой точке электрической сети. В то же время, алгоритм при КЗ на питающей линии и при КЗ на линиях электрической сети, не участвующих в электроснабжении предприятия, должен быть различным. При КЗ на питающих линиях с последующим отключением поврежденной линии от устройств релейной защиты происходит потеря электрической связи предприятия с источником питания. Поэтому для ускорения АВР целесообразно при возникновении таких КЗ, не дожидаясь отключения поврежденного элемента от своих защит, отключать ввод потерявшей питание секции шин от ЗМН-1 без выдержки времени. Однако такие адаптивные ЗМН в настоящее время отсутствуют. Разработка адаптивных ЗМН позволит сократить перерывы электроснабжения и снизить опасность нарушения технологических процессов. Особенно это актуально для НПС и других предприятий, предъявляющих повышенные требования к бесперебойности технологического процесса.

Выводы

1. Актуальным является разработка мероприятий по обеспечению селективности ЗМН-1 при КЗ в сети НПС и исключению несинхронного восстановления напряжения на шинах после отключения КЗ.
2. Актуальной является проблема снижения времени действия ЗМН-2 на отключение электродвигателя.
3. Актуальной задачей является создание адаптивных ЗМН, алгоритм действия которых зависит от места КЗ в электрической сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев, А.В. Противоаварийное управление в узлах нагрузки с синхронными электродвигателями большой мощности / А.В. Беляев. – М.: НПФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2004. – 80 с.
2. Шабанов, В.А. Выполнение защит минимального напряжения на нефтеперекачивающих станциях / В.А. Шабанов, В.Ю. Алексеев, А.Р. Валишин. – Межвузовский сборник научных трудов «Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов» – Уфа: Издательство УГНТУ, 2010. – С. 93-98.
3. Шабанов, В.А. Недостатки защит минимального напряжения на нефтеперекачивающих станциях / В.А. Шабанов, В.Ю. Алексеев, А.Р. Валишин и др. // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2010. – №2. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_1.pdf
4. Шабанов, В.А. Пути устранения недостатков защиты минимального напряжения на нефтеперекачивающих станциях / В.А. Шабанов, В.Ю. Алексеев, А.Р. Валишин и др. // Журнал «Нефтегазовое дело», 2011. – Т.9. – №2. – С.91-94.
5. Шабанов, В.А. Выбор уставок защит минимального напряжения на нефтеперекачивающих станциях / В.А. Шабанов, В.Ю. Алексеев // Энергетик. – 2008. – №7. – С. 37-39.
6. Шабанов, В.А. Обеспечение селективности второй ступени защиты минимального напряжения на нефтеперекачивающих станциях / В.А. Шабанов, В.Ю. Алексеев // Журнал «Промышленная энергетика». – 2008. – №4. – С.25-27.
7. Шабанов, В.А. Повышение надежности пусковых органов минимального напряжения АВР на НПС / В.А. Шабанов, В.Ю. Алексеев, М.К. Плеханов и др. – Межвузовский научный сборник «Электронные устройства и системы». – Уфа: Издательство УГАТУ, 2010. – С. 275-279.
8. Шабанов, В.А. Повышение эффективности первой ступени защиты минимального напряжения нефтеперекачивающих станций / В.А. Шабанов, В.Ю. Алексеев // Межвузовский научный сборник «Электромеханика, электротехнические комплексы и системы». – Уфа: Издательство УГАТУ, 2010. – С. 179-183.
9. Шабанов, В.А. Электроснабжение нефтеперекачивающих станций / В.А. Шабанов, В.Ю. Алексеев – Уфа: Изд-во Монография. 2010. – 268 с.