

УДК 621.311

## ВОПРОСЫ РЕКОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ 10(6)/0,4 КВ

Суськова В.М.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Фурсанов М.И.

Распределительные электрические сети обеспечивают электроэнергией городских, промышленных и сельскохозяйственных потребителей. Данные сети характеризуются значительной протяженностью, в сравнении с сетями более высоких напряжений. Эффективность эксплуатации распределительных сетей 10(6)/0,4 кВ зависит от степени достижения оптимального уровня их экономичности, надежности и безопасности при минимизированных затратах на выполнение соответствующих мероприятий. Особенно важно при этом выполнение двух условий: на зажимах потребителей должно поддерживаться нормативное значение напряжения, а технологические потери в процессе передачи электроэнергии этим потребителям должны быть минимальными и экономически обоснованными. Постепенный естественный физический износ оборудования, конструкций, материалов приводит к снижению надежности электроснабжения. Поэтому возникает необходимость модернизации, технического перевооружения, которые должны осуществляться на современных принципах и современной элементной базе.

Лучший результат для повышения эффективности работы сетей 10(6)/0,4 кВ дает синхронное решение двух задач – обеспечение отклонения напряжения у потребителя в допустимых пределах и снижение потерь энергии в сети. Однако в некоторых ситуациях, когда предпочтение отдают ограничению нижнего предела отклонения напряжения, например с помощью продольных вольтодобавочных трансформаторов (ВДТ) на линиях 0,4 кВ, а на увеличение технологических потерь энергии не обращают внимания, итог получается отрицательным.

Для анализа технико-экономической эффективности применения ВДТ в сетях 0,4 кВ смоделируем упрощенную, но соответствующую условиям эксплуатации схему ВЛ, питающую сельскохозяйственных потребителей (рис. 1). Нагрузки, указанные на схеме для номинального напряжения 380/220 В и  $\cos\varphi = 0,95$ , задаются эквивалентными сопротивлениями.

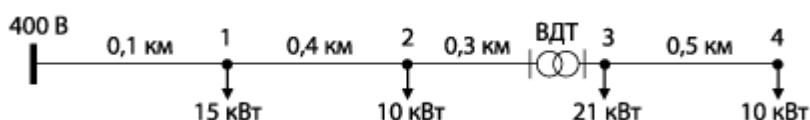


Рисунок 1 – Упрощенная схема ВЛ, питающей сельскохозяйственных потребителей

Кроме необходимости обеспечить допустимые значения отклонений напряжения ( $-10/+5\%$ ) в точках 3 и 4, учтем влияние ВДТ при разных коэффициентах его трансформации на напряжение, для данной линии – в точке 2. При проведении расчетов по параметрам фазных токов и напряжений согласно такой модели напряжение в точках 2 и 4 окажется равным минимально допустимому, однако возрастут потери мощности и энергии в сумме трех фаз.

В качестве альтернативного варианта можно рассмотреть замену провода на провод большего сечения: А-35 на А-50, А-70 или А-95 (применение провода марки АС практически не изменяет результаты расчета). Приемлемым для замены, с учетом технологии и стоимости выполнения работ, оказался провод А-70.

В экономической плоскости способ обеспечения желательных уровней напряжения на зажимах потребителей электроэнергии посредством замены проводов также обладает преимуществом. Рыночная цена ВДТ мощностью, соответствующей рассматриваемому примеру, составляет порядка \$14 000, что в 2 раза превышает стоимость нового провода и

работ по реконструкции данной линии. Добавим существенное снижение потерь энергии. Получим однозначный вывод: единственная ситуация для применения ВДТ – чрезвычайные обстоятельства при невозможности быстрее выполнения реконструкции линии.

Технико-экономическая эффективность эксплуатации силовых трансформаторов определяется не только их конструктивными параметрами, но и тем, как соблюдаются уровни напряжения во взаимосвязанных элементах цепи «внешний источник относительно сети 10(6) кВ – линии 10(6) кВ – трансформаторы 10(6)/0,4 кВ – линии 0,4 кВ – потребитель».

Трансформаторы 10(6)/0,4 кВ оснащаются устройствами ПБВ – переключения ответвлений обмоток высшего напряжения без возбуждения. Такие устройства предназначены для выполнения функций поддержания нормированных уровней напряжения в случаях установки трансформаторов в местах сети с постоянным или возникающим из-за сезонных изменений мощности нагрузки отклонением напряжения.

Однако, во-первых, по достоверным сведениям, приводом ПБВ многих трансформаторов 10(6)/0,4 кВ за все время эксплуатации мало кто пользовался. Во-вторых, для современных распределительных сетей с их общеизвестными, заложенными уже на стадии проектирования недостатками далеко не всегда установка ПБВ-трансформатора на ответвление его первичной обмотки, удовлетворяющее предпочтительному уровню напряжения, положительно сказывается на экономических показателях эксплуатации сети.

При относительно больших отклонениях напряжения в сети 0,4 кВ, вызванных суточными колебаниями нагрузки, и неизменном коэффициенте трансформации питающего трансформатора появляется ряд отрицательных моментов. Как правило, с целью поддержания необходимого напряжения у потребителей протяженных линий 0,4 кВ, ПБВ конкретного трансформатора 10(6)/0,4 кВ устанавливается в положение, отвечающее меньшему коэффициенту трансформации. После спада дневного и особенно вечернего максимума даже с учетом регулирующего эффекта питающей подстанции, где имеется такая возможность, напряжение на рассматриваемом трансформаторе повышается минимум на 5% относительно номинального для данного ответвления первичной обмотки. А часто оно бывает и выше с известными последствиями увеличения потерь холостого хода, особенно в условиях питания сети 10(6) кВ от подстанции с трансформаторами 35/10(6) кВ, оснащенными ПБВ.

Соответствующее этому режиму сети напряжение питания оставшихся включенными отдельных потребителей (двигатели, освещение, технологические установки и др.) приводит к ускорению их износа и неоправданному перерасходу электроэнергии.

Кроме ущерба от потерь и превышения потребления энергии, существенен урон и от пониженной надежности трансформаторов с ПБВ. Опыт эксплуатации силовых трансформаторов напряжением 10(6)/0,4 кВ свидетельствует о том, что до 50% их повреждений напрямую или косвенно связаны с наличием ответвлений высоковольтной (первичной) обмотки. К таким повреждениям относятся: дефекты контактных соединений переключателя и нарушение их термической стойкости; снижение электрической прочности изоляции в местах вывода из обмотки проводов ответвлений; недостаточная динамическая прочность обмоток высокого напряжения (особенно изготовленных с применением круглого алюминиевого провода).

В целом применение трансформаторов, оснащенных ПБВ, в сетях 10(6)/0,4 кВ является убыточным и для изготовителей трансформаторов, и для организаций, эксплуатирующих сеть, и для потребителей электроэнергии.

Возможной альтернативой использования ПБВ распределительного трансформатора является применение автоматически регулируемых установок компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ подстанций 10(6)/0,4 кВ. Во-первых, цена конденсаторов 10(6) и 0,4 кВ составляет ориентировочно 10:1. Во-вторых, их повреждаемость в эксплуатации определяется тем же соотношением и в основном не столько из-за недостаточного уровня длительной и кратковременной электрической прочности внутренней изоляции

конденсаторов, сколько из-за непредсказуемости воздействия грозových, коммутационных и дуговых перенапряжений. В-третьих, отсутствует возможность регулирования компенсации. В-четвертых, не устраняется нагрузка трансформатора по реактивной мощности.

Значимость распределительных кабельных сетей, которые становятся практически единственным звеном передачи электрической энергии (ВЛ не отвечают в полной мере требованиям надежности, экономичности, экологической приемлемости), неизмеримо возрастает. Постепенно такие сети преобразуются в малые активно-адаптивные энергетические системы, обладающие собственным полноценным источником электрической и тепловой (полезно используемой) мощности.

Строительство этих систем, которые предлагается назвать Mid-Small Grid (M-S Grid), рассматривается в виде переходного периода к наиболее эффективным системам высшего уровня, именуемым сейчас Microgrid, где в перспективе источник и потребитель энергии будут представлять собой единое целое. Особо значимы M-S Grid для развития энергетики РФ, где до двух третей территории не охвачены централизованным энергоснабжением.

В ходе реконструкции и сооружения новых распределительных сетей с целью комплексного решения перечисленных задач необходимо в первую очередь определить приемлемое сочетание номинальных напряжений этих сетей с учетом напряжения питающей (внешней) сети, не упуская из виду концепцию Smart Grid и ее ответвлений в виде Mid-Small Grid на пути к Microgrid.

В истоках M-S Grid – разработка идеи адресного снабжения (АС) электроэнергией. Рассматривались возможные сочетания напряжений: 3; 5; 6; 10; 15; 20; 27,5; 35 кВ. С учетом адаптации к современным условиям предпочтительными признаны подстанции глубокого ввода напряжением 35/6,3 кВ и кабельные сети 6/0,4 кВ.

В системе АС сеть 6 кВ внедряется для радикального уменьшения протяженности линий 0,4 кВ. Последняя ступень трансформации максимально приближается к потребителю. Прокладка кабелей и проводов 6 и 0,4 кВ в земле осуществляется в отдельных диэлектрических трубах.

Такие системы применимы в схемах снабжения потребителей сельской местности, городов с малой и средней численностью населения. В больших городах необходимы пункты питания напряжением 110 кВ. В крупном жилищном строительстве: ввод 35 кВ и подъездные или междуэтажные подстанции 6/0,4 кВ. Подобным образом решается задача энергообеспечения жилых микрорайонов городов. Системы M-S Grid безальтернативны для поселений XXI века – экотехнополисов и экоаглополисов.

Высшее напряжение сети АС 6 кВ было выбрано также исходя из целесообразности применения в адресных комплектных подстанциях (КТП АС) сухих силовых трехфазных и однофазных (фактически двухфазных) энергоэкономичных трансформаторов, достаточно надежных и относительно недорогих при таком напряжении первичной обмотки.

В целом сети адресного снабжения (M-S Grid) обеспечивают автоматическое, посредством РПН трансформаторов 35/6,3 кВ, поддержание напряжения 0,4 кВ у потребителей в пределах отклонения  $-5/+2,5\%$  от номинального значения и ограничение потерь энергии до величины не более 5%.

#### Литература

1. Короткевич А.М., Драко М.А., Уласовец Р.И. Выбор конструктивного исполнения линий электропередачи напряжением 10 кВ для городской электрической сети. // Энергетическая стратегия, - 2015. №6(48). – С. 22 – 24.
2. Назаров В. Распределительные сети 10(6)/0,4 кВ. Вопросы реконструкции. // Новости электротехники, - 2014. №4(88).