

Охарактеризовав в первой части этой статьи принципиальное отличие децентрализованного управления аварийными режимами распределительных сетей от централизованного, рассмотрим теперь, как с помощью интеллектуальных аппаратов-реклоузеров можно существенно повысить надежность электроснабжения потребителей России и Украины.

## Новый уровень управления аварийными режимами распределительных сетей с помощью реклоузеров

Андрей Симонов, доктор технических наук, г. Киев

(Окончание. Начало см. в Э 11/2012)



### Современное техническое состояние российских и украинских распределительных сетей 6–10 кВ

Воздушные распределительные сети напряжением 6–10 кВ в большинстве стран мира, в том числе в России и на Украине, являются намного более протяженными по сравнению с сетями других классов напряжения. Из-за недостаточной оснащённости таких сетей коммутационными аппаратами и слабой автоматизации послеаварийных переключений в них чаще всего происходят нарушения электроснабжения, а поскольку большинство переключений в таких сетях выполняется вручную, то это ведет к длительным отключениям электропотребителей. Так, в России такие отключения составляют 70...100 ч в год на один питающий фидер, что на два порядка выше, чем в США и ЕС [1].

Следствием этого является очень низкая надежность электроснабжения потребителей. Так, по данным ОАО «РОСЭП»,

среднее число устойчивых повреждений, вызывающих отключения ВЛ напряжением до 35 кВ, составляет 25 на 100 км линии в год. Часть из них возникает вследствие безучетного и бездоговорного электропотребления, ведущего к повышенной нагрузке на распределительные устройства и электросети и к выходу их из строя, причем предотвратить разрушение перегруженных электросетей, как правило, не в состоянии профилактические осмотры и текущие ремонты отключающего оборудования, обычно устанавливаемого на опорах (рис.1).



Рис.1

В то же время около 80% повреждений на ВЛ по своей природе неустойчивы и поэтому значительную их часть можно было бы устранить применением многократного АПВ. Однако возникающие в воздушных распределительных сетях неустойчивые повреждения автоматически не устраняются, так как свыше 60% устройств РЗА, установленных в российских распределительных сетях напряжением 6–10 кВ много лет тому назад, выработали

свой ресурс, к тому же в большинстве из таких сетей отсутствует телемеханика. Поэтому для устранения возникающих на ВЛ неустойчивых повреждений диспетчер вынужден посылать на линию оперативную бригаду, что значительно увеличивает время их поиска и время восстановления электроснабжения.

*Какой может быть предложен выход для повышения надежности электроснабжения потребителей?*

По твердому убеждению ведущих экспертов-энергетиков, единственный способ существенно повышения надежности электроснабжения потребителей состоит в отказе от резервирования, разукрупнения ВЛ 10 кВ в пользу применения в распредсетях современной децентрализованной автоматизации, для осуществления которой на типовой фидер 6 (10) кВ с односторонним питанием требуется установка от одного до двух, а на кольцевой схеме с двумя центрами питания и точкой нормального разрыва сети – от трех до пяти реклоузеров.

При этом надежность электроснабжения потребителей более чем на порядок повышается по сравнению с надежностью электроснабжения без реклоузеров [1, 2]. Это происходит потому, что такая автоматизация дает возможность самостоятельно, без координации из центра, автоматически отключать только аварийный участок сети на основе локальной информации о повреждении, обрабатываемой непосредственно в самом пункте секционирования. Тем самым реализуется главное преимущество децентрализованного управления аварийностью в распредсетях – быстрое (в течение долей секунды) автоматическое отключение КЗ и локализация поврежденного участка сети, причем эти процессы происходят без участия диспетчера, что исключает влияние пресловутого «человеческого фактора».

#### Технические характеристики реклоузеров в системе децентрализованного управления аварийностью распределительных сетей

Технические характеристики наиболее часто применяемого в распредсетях России и Украины реклоузера вакуумного РВА/TEL приведены в **табл.1** [3], а его общий вид показан на **рис.2**, где обозначено:



**Рис.2**

**Таблица 1**

Наименование характеристики	Значение характеристики
Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальный ток, А	630
Номинальный ток отключения, кА	16
Время включения собственное, мс, не более	60
Время отключения полное, мс, не более	40
Ресурс по коммутационной стойкости, не менее:	
• при номинальном токе, В-О	30 000
• при номинальном токе отключения, В-О	100
Цикл АПВ	0-0,1с-В0-1с-В0-1с-В0
Номинальное напряжение цепей управления, В	100/127/220
Масса коммутационного модуля, кг	62,5
Масса шкафа управления, кг	35
Ток электродинамической стойкости, кА	51
Трехсекундный ток термической стойкости, кА	20
Срок службы, лет	25

1 – высоковольтные вводы;

2, 3, 4 – отверстия для крепления монтажных рам, монтажных кронштейнов и болта заземления соответственно;

5 – верхний кожух.

Реклоузеры вакуумные РВА/TEL совместно с высокоэффективными системами защиты обеспечивают децентрализованное управление аварийными режимами работы распределительных сетей. Они выпускаются промышленностью, как правило, в виде одного интеллектуального устройства, в состав которого входят: вакуумный коммутационный модуль, встроенная система измерения токов и напряжений, а также шкаф управления с микропроцессорной системой защит и автоматики.

*Каждый применяемый в распредсети реклоузер:*

- Осуществляет оперативные переключения и тем самым автоматически изменяет конфигурацию воздушной распределительной сети, автоматически отключая поврежденный участок сети.
- Производит АПВ сети и автоматически восстанавливает питание потребителей на неповрежденных участках сети.
- Собирает, обрабатывает и передает информацию о параметрах режимов работы сети и о состоянии собственных элементов.
- Интегрируется в системы телемеханики с помощью программно-аппаратного комплекса SCADA.

*Применение реклоузеров позволяет:*

- Существенно (более чем на порядок) повысить надежность электроснабжения и тем самым практически полностью устранить недоотпуск электроэнергии потребителям.
- Значительно уменьшить число аварийных отключений воздушных распределительных сетей, а следовательно, и существенно сократить затраты на их обслуживание.
- Реализовать современные принципы автоматизации и управления распределительными сетями.

#### Примеры децентрализованной автоматизации распределительных сетей 6–10 кВ, оснащенных реклоузерами

Рассмотрим вначале построенную по радиальному принципу сложную распределительную сеть с сечением проводов, ступенчато уменьшающихся от головного участка к концу линии, которая оснащена ручными линейными разъединителями ЛР и защи-

той РЗА, осуществляемой с помощью электромеханических реле (рис.3), Защитные аппараты (маломасляные выключатели с электромеханическими терминалами РЗА) устанавливаются в такой сети в центрах питания – ПС 35/10 (6) кВ.

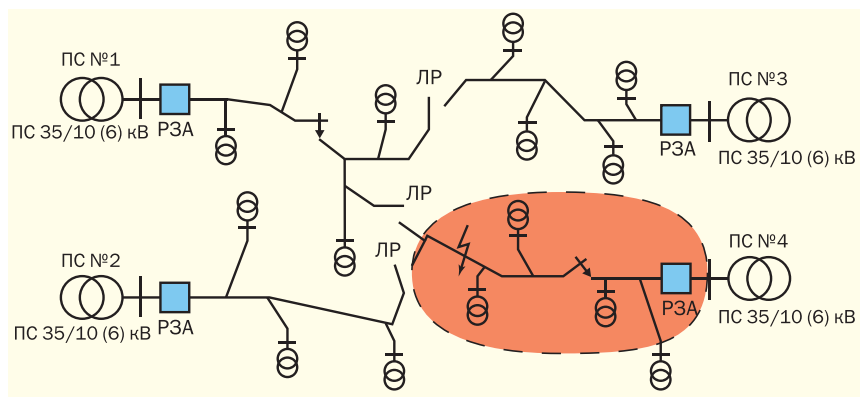


Рис.3

При возникновении повреждения на любом участке сети происходит отключение защитного аппарата на отходящем фидере, и все подключенные к сети потребители на неповрежденных участках на длительное время теряют питание. Питание потребителей будет восстановлено вновь только после того, как по распоряжению диспетчера для локализации повреждения на фидере выедет оперативная бригада и путем последовательных переездов и переключений разъединителей вручную выделит поврежденный участок сети и подаст питание остальным (неповрежденным) потребителям. Таким образом, вследствие полного отсутствия автоматизации режимов работы сети при повреждении какого-либо участка распределительной сети, конфигурация которой показана на рис.3, существует высокая вероятность длительного отключения значительной части потребителей, подключенных к этой сети. Это происходит из-за необходимости выполнять все переключения вручную силами оперативно-выездной бригады, которая прежде всего должна отыскать место повреждения, а уже после этого выполнять все необходимые переключения.

Таблица 2

Вариант применения реклоузеров в сети	Область применения	Информация об эффективности варианта
Последовательное секционирование линии с односторонним питанием	Радиальные линии, когда невозможно обеспечить сетевое резервирование от смежных источников	По количеству отключенных потребителей точно идентифицируется поврежденный участок линии и на него оперативно направляется ремонтная бригада
Последовательное секционирование линии с сетевым резервом	Радиальные линии с двумя или несколькими смежными источниками питания	Автоматически локализуется повреждение в пределах одного участка и автоматически подается резервное питание неповрежденным потребителям
Секционирование линии с применением плавких предохранителей	При наличии в сети протяженных отпайек совместно с алгоритмом секционирования линий с односторонним питанием или сетевым резервом	Установка плавкого предохранителя на отпайке исключает влияние повреждений на ответвлениях на общую надежность потребителей сети

Накопленный в Советском Союзе опыт эксплуатации протяженных воздушных распределительных сетей 6–10 кВ показал, что практически невозможно существенно повысить надежность электроснабжения потребителей, получающих питание по таким сетям, многократным резервированием линий и их разукрупнением. Кроме того, при наличии в таких сетях проводов с сечениями, уменьшающимися к концу линий, как это имеет место в распределительной сети, показанной на рис.3, невозможно обеспечить полноценное электроснабжение потребителей в послеаварийных режимах только сооружением резервных перемычек, усложняющих оперативное обслуживание и снижающих уровень безопасности.

Единственный реальный путь существенного повышения надежности электроснабжения потребителей, подключенных

к электросети, конфигурация которой показана на рис.3 [1, 2], состоит в переходе на децентрализованную автоматизацию с применением реклоузеров и современной микропроцессорной защиты, как это показано на видоизмененной схеме этой сети, в которой установлены реклоузеры R1–R3 и намного более быстродействующая по сравнению с электромеханическими реле система микропроцессорной релейной защиты и автоматики РЗА в центрах питания (рис.4).

В табл.2 [1] приведены другие возможные варианты децентрализованного управления аварийными режимами

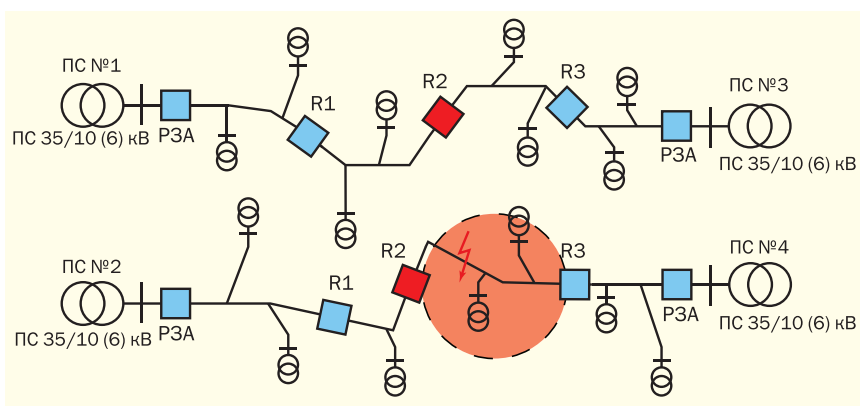


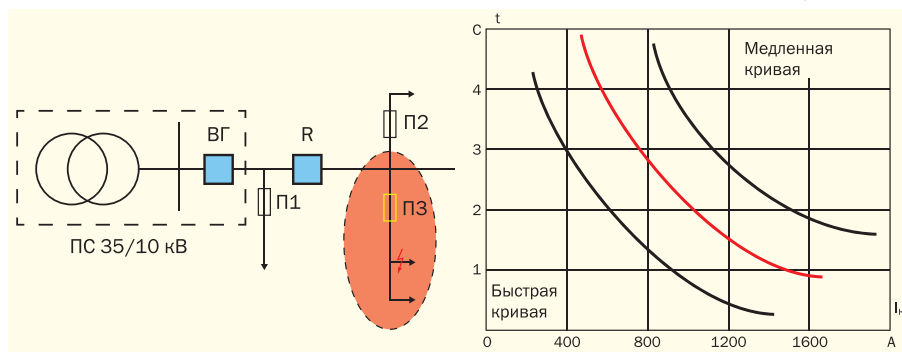
Рис.4

сложной распределительной сетью с применением реклоузеров, отличающиеся от рассмотренного выше примера децентрализованной автоматизации.

Рассмотрим более подробно приведенный в **табл.2** третий вариант применения реклоузеров в распределительной сети при наличии в ней протяженных отпайек совместно с алгоритмом секционирования линий с односторонним питанием или сетевым резервом, основанный на применении в качестве защитного аппарата на ответвлении от сети высоковольтных отстреливающих предохранителей.

В основу алгоритма работы реклоузеров в такой сети положена идеология «спасения» предохранителя (от англ. fuse saving). При возникновении КЗ в линии в первом цикле АПВ реклоузер на магистральном фидере быстро отключается и тем самым предотвращает перегорание плавкой вставки предохранителя на отпайке. На втором или третьем цикле АПВ (т.е. когда можно судить об устойчивости повреждения) реклоузер переходит на характеристику, согласованную с предохранителем на отпайке, давая возможность перегореть плавкой вставке. При этом задействуется возможность реклоузера работать с разными настройками токовых защит в циклах АПВ (быстрые и медленные времятоковые характеристики (ВТХ)). Алгоритм позволяет обеспечить максимальную надежность фидера в целом.

Схема «спасения» предохранителей показана на **рис.5**, где обозначено:



**Рис.5**

- П1–П3 – плавкие отстреливающие предохранители;
- R – реклоузер;
- график ВТХ предохранителя; быстрая и медленная кривая ВТХ реклоузера до и после первого цикла АПВ.

Отметим, что для повышения надежности электроснабжения потребителей, защиты трансформатора и организации коммерческого учета электроэнергии по стороне 6 (10) кВ, а также для приема электроэнергии напряжением 6 (10) кВ и последующего ее преобразования и распределения на напряжении 0,4 кВ частотой 50 Гц весьма эффективной является комплексная установка ПСС-10-СУ, технические характеристики которой приведены в **табл.3** [4].

В состав этой комплексной установки входят:

- Линейный разъединитель 6 (10) кВ.
- Высоковольтный модуль реклоузера с функцией коммерческого учета электроэнергии, позволяющий автоматизировать управление аварийностью распределительной сети и осуществляющий мониторинг процесса потребления электроэнергии в ВЛ 6 (10) кВ.
- Силовой трансформатор, преобразующий напряжение 6 (10) кВ в напряжение 0,4 кВ.

**Таблица 3**

Наименование характеристики	Значение
Номинальное напряжение, кВ	46 (10)
Номинальный ток устройства, А	400 (630)
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2 (12)
Номинальный ток отключения, кА	12,5
Ресурс по коммутационной стойкости:	
• при номинальном токе В-О	50000
• при номинальном токе отключения В-О	50
Срок службы, не менее, лет	25

- Распределительное устройство трехфазного напряжения 0,4 кВ для электроснабжения конечных потребителей со встроенным счетчиком электроэнергии по напряжению 6 (10) кВ и, при необходимости, одним или несколькими счетчиками по шинам 0,4 кВ. Комплекс устанавливается на границе балансовой принадлежности, подключается к ЛЭП 6(10) кВ через линейный разъединитель, устанавливаемый на одной опоре с высоковольтным модулем реклоузера; при этом на соседней опоре монтируется КТП.

### Выводы

Проведенный в статье сравнительный анализ возможностей, присущих централизованному и децентрализованному принципам управления аварийными режимами распределительных сетей, позволяет сделать следующие выводы:

1. Система централизованного управления работой распределительных сетей, оснащенных электромеханическими реле, не в состоянии обеспечить достаточно высокий уровень надежности электроснабжения потребителей в аварийных режимах работы сети.

2. Требуемый в настоящее время высокий уровень надежности электроснабжения потребителей в аварийных режимах работы распределительной сети способна обеспечить только децентрализованная система управления аварийностью, основанная на принципах автоматического секционирования линий с применением современных многофункциональных интеллектуальных автоматических пунктов секционирования – реклоузеров, анализирующих аварийные режимы работы сети и автоматически, без участия диспетчера, ее реконфигурирующих.

предсети способна обеспечить только децентрализованная система управления аварийностью, основанная на принципах автоматического секционирования линий с применением современных многофункциональных интеллектуальных автоматических пунктов секционирования – реклоузеров, анализирующих аварийные режимы работы сети и автоматически, без участия диспетчера, ее реконфигурирующих.

### Литература

1. Владислав Воротицкий, Сергей Бузин. Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления ВЛ 6 (10) кВ // Новости электротехники. – 2005. – №3 (33).
2. Владислав Воротицкий, Екатерина Кваша и др. Распределительные сети 6 (10) кВ – модернизация или автоматизация? // Энергетика. – 2011. – №3 (38).
3. Реклоузер вакуумный серии РВА/TEL. – Издание «РК ТАВРИДА ЭЛЕКТРИК».
4. Пункт коммерческого учета электроэнергии ПСС-10-СУ.