DOI: 10.17117/nv.2015.03.056

Поступила (Received): 17.09.2015

<http://ucom.ru/doc/nv.2015.03.056.pdf>info@ggc.nnov.ru

Крюков О.В.
Принципы релейной защиты и автоматики
вдольтрассовых линий электропередач

Kryukov O.V.
Principles of relay protection and automatic
equipment of along-route power lines

Рассмотрены принципы проектирования современных систем электроснабжения вдольтрассовых потребителей магистрального транспорта газа. Представлены особенности применения аппаратных средств релейной защиты и алгоритмов работы автоматики ЛЭП
Ключевые слова: система электроснабжения, воздушные линии электропередач

Крюков Олег Викторович

Доктор технических наук, доцент

Главный специалист

АО «Гипрогазцентр»

Нижний Новгород, ул. Алексеевская, 26

The principles of design of modern systems of power supply of along-route consumers of the main transport of gas are considered. Features of use of hardware of relay protection and algorithms of operation of automatic equipment of the high voltage line are presented

Key words: system of power supply, overhead power transmission lines

Kryukov Oleg Viktorovich

Doctor of Engineering Sciences, associate Professor

Chief specialist

JSC "Giprogazcenter"

Nizhny Novgorod, Alekseevskaya st., 26

В настоящее время электроснабжение линейного электротехнического оборудования магистральных газопроводов (МГ) – электрохимической защиты, аппаратуры телемеханики и связи, задвижек [1,2] – в подавляющем большинстве случаев обеспечивается вдольтрассовыми магистральными воздушными линиями электропередач (ЛЭП) напряжением 6-10 кВ. Данные ЛЭП обладают рядом особенностей, затрудняющих применение традиционных принципов построения релейной защиты и автоматики (РЗА):

- значительная протяженность (длина вдольтрассовых ЛЭП может составлять более 100 км) с низким уровнем токов короткого замыкания в конце ЛЭП;
- малые установленные мощности линейных потребителей электроэнергии с общей номинальной мощностью всех электроприемников до 10-50 кВт;
- неравномерность распределения нагрузок по длине воздушной линии (ВЛ);
- большое количество секционирующих пунктов, что при обеспечении селективности максимальных токов защит приводит к недопустимо большой выдержке времени максимальной токовой защиты (МТЗ) головного выключателя линии;

- высокие требования к надежности электроснабжения линейных потребителей МГ, обуславливающие применение сетевых устройств автоматического ввода резерва (АВР) и многократных устройств автоматического повторного включения (АПВ).

Широко применяемые сейчас микропроцессорные терминалы РЗиА [3,4] с традиционным подходом к автоматическому секционированию ВЛ не всегда позволяют обеспечить селективность работы РЗиА и управления выключателями секционирующих пунктов вдольтрассовых ЛЭП. В связи с этим в настоящее время актуальна проблема выбора устройств РЗиА и коммутирующей аппаратуры для установки на вдольтрассовых воздушных ЛЭП МГ, а также задача разработки алгоритмов работы автоматики секционирующих пунктов и ее взаимосвязи с РЗиА.

Применение РЗиА для вдольтрассовых ВЛ-6(10) кВ

Вдольтрассовые воздушные ЛЭП-6(10) кВ МГ подключаются, как правило, к сетевым подстанциям с высшим напряжением 35, 110 кВ, ЗРУ-6(10) кВ КС, а также к ВЛ 6(10) кВ, находящимся на балансе организаций АО "Энерго" [1,4]. Большинство вдольтрассовых ЛЭП 6(10) кВ МГ питают трансформаторные подстанции (ТП) 10/0,4 кВ (6/0,4 кВ) мощностью 10...100 кВА. Эти ТП подключаются к ответвлениям от ВЛ через плавкие кварцевые предохранители типа ПКТ. В местах установки ТП в магистраль ЛЭП для автоматического секционирования устанавливаются вакуумные выключатели (рис. 1).

Назначение автоматического секционирования вдольтрассовых ЛЭП-6(10) кВ МГ состоит в быстром отделении поврежденного участка от остальной линии. Автоматическое секционирование в сочетании с устройствами АПВ на секционирующих и головных выключателях является одним из эффективнейших средств повышения надежности электроснабжения линейных потребителей МГ. Это относится к радиальным (тупиковым) ВЛ 6(10) кВ и к линиям с двусторонним питанием, в особенности при сочетании устройств секционирования с сетевыми АВР.

Рис. 1. Принципиальная схема секционирующего пункта и ТП 10/0,4 кВ вдольтрассовой ВЛ-10 кВ МГ

Автоматическое секционирование уменьшает объем аварийных отключений потребителей при повреждениях на линии, позволяет сократить основную зону действия релейной защиты на головном выключателе. При установке секционирующих пунктов чувствительность защиты головного выключателя должна обеспечиваться только при повреждениях до места установки ближайшего секционирующего выключателя, где токи короткого замыкания значительно больше, чем в удаленных точках линии. Кроме того, автоматическое секционирование ускоряет процесс локализации повреждений на линии, позволяет быстрее готовить рабочие места при ремонтных работах и повышает культуру эксплуатации ВЛ.

Вдольтрассовые ВЛ-6(10) кВ МГ выполняются, как правило, с двусторонним питанием [1,5], при этом автоматическое секционирование применяется в сочетании с сетевым АВР. При такой схеме любой поврежденный участок может быть автоматически отключен с двух сторон (выделен), а остальные участки будут продолжать питаться либо от одного, либо от второго центра питания (ЦП) (рис. 2).

Рис. 2. Схема вдольтрассовой ВЛ-6(10) кВ с последовательным секционированием и устройством сетевого АВР

В качестве РЗА вдольтрассовых ВЛ-6(10) кВ МГ на головных выключателях и секционирующих пунктах устанавливаются двухступенчатые направленные токовые защиты, первая ступень которых выполнена в виде селективной токовой отсечки, а вторая – в виде МТЗ с зависимой или независимой выдержкой времени. Применение направленных защит необходимо для исключения режима прохождения мощности через головной выключатель в питающую сеть (например, при коротком замыкании в питающей сети) и режима параллельной работы двух источников питания вдольтрассовых ВЛ-6(10) кВ. Для защиты от однофазных замыканий на землю применяется направленная токовая защита нулевой последовательности, измерительные органы которой используют в качестве измерительных преобразователей трансформаторы тока нулевой последовательности, и неселективная сигнализация по напряжению нулевой последовательности (устройство контроля изоляции сети 10 кВ). Также на головных выключателях устанавливается защита минимального напряжения (делительная автоматика), отключающая выключатель в бестоковую паузу перед включением АВР.

Вдольтрассовые воздушные ЛЭП-6(10) кВ с двусторонним питанием работают в разомкнутом режиме. Это обусловлено рядом преимуществ разомкнутых режимов работы сетей по сравнению с замкнутыми:

- уменьшение токов короткого замыкания;
- упрощение РЗА;

- возможность питания отдельных участков сети от источников с разными уровнями напряжений, большим угловым сдвигом между напряжениями и не-синхронно работающих источников;

- удобство при развитии и реконструкции существующих сетей.

Для обеспечения быстрого перехода с основного источника питания на резервный на вдольтрассовых ВЛ используются сетевые АВР, которые выполняют:

- переключение питания участка ВЛ на резервный источник при отключении рабочего;

- предотвращение подачи напряжения от резервного источника на поврежденный (устройства делительной автоматики минимального напряжения, действующие перед срабатыванием сетевого АВР);

- выполнение автоматической перестройки РЗА перед действием сетевого АВР;

- выполнение переключений с целью изменения первичной схемы сети и повышения надежности электроснабжения.

На вдольтрассовых воздушных ЛЭП 6(10) кВ МГ применяются сетевые АВР одностороннего и двустороннего действия. При этом схема АВР запускается при исчезновении напряжения со стороны любого из двух источников питания и при наличии напряжения со стороны другого источника питания. Делительная автоматика, устанавливаемая на головных выключателях, предназначена для ограничения радиуса действия сетевого АВР, а также предотвращения подачи напряжения от резервного источника питания на поврежденный элемент рабочего питания.

Порядок расчета токовых отсечек вдольтрассовых ЛЭП

В связи со значительной протяженностью вдольтрассовых ВЛ-10 кВ МГ [4-6], они имеют низкий уровень токов короткого замыкания в конце линии. Вместе с тем, это мало влияет на чувствительность МТЗ, установленной на секционирующих пунктах, ввиду малых установленных мощностей линейных потребителей электроэнергии.

Большая длина вдольтрассовых ЛЭП создает значительные трудности при применении и расчете первых ступеней направленных токовых защит - токовых отсечек (ТО), используемых в качестве дополнительных защит. Для этого рассмотрим типичную схему вдольтрассовой ВЛ-10 кВ с односторонним питанием (рис. 3).

Рис. 3. Схема вдольтрассовой ВЛ-10 кВ с односторонним питанием

Приведем методику упрощенного расчета токовой отсечки [3,7], установленной на секционирующем пункте СП_n без учета комплексного характера величин, сопротивления системы, параметров короткого замыкания и т.п. Ток трехфазного короткого замыкания в точке установки секционирующего пункта СП_n:

$$I_{k \max n}^{(3)} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot Z_n} \quad (1)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ - номинальное линейное напряжение сети;

Z_n - полное сопротивление сети до места установки секционирующего пункта СП_n.

Ток трехфазного короткого замыкания в точке установки секционирующего пункта СП_{n+1}:

$$I_{k \max n+1}^{(3)} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{n+1}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot (Z_n + \Delta Z)} \quad (2)$$

где Z_{n+1} - полное сопротивление сети до места установки секционирующего пункта СП_{n+1};

ΔZ - величина сопротивления линии от точки установки СП_n до точки установки СП_{n+1}.

Находим ток срабатывания ТО, установленной на секционирующем пункте СП_n:

$$I_{\text{ср ТО } n} = k_n I_{k \max n+1}^{(3)} = \frac{k_n U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot (Z_n + \Delta Z)} \quad (3)$$

где k_n - коэффициент надежности.

Условие чувствительности токовой отсечки:

$$\frac{I_{k \max n}^{(3)}}{I_{\text{ср ТО } n}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot Z_n} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot (Z_n + \Delta Z)}{k_n U_{\text{НОМ}}} = \frac{Z_n + \Delta Z}{Z_n k_n} \geq 1,2 \quad (4)$$

$$\frac{\Delta Z}{Z_n} \geq 1,2 k_n - 1 \quad (5)$$

Примем, что вдольтрассовая ВЛ-10 кВ по всей длине выполнена из одного и того же типа провода. Получаем:

$$\frac{\Delta Z}{Z_n} = \frac{Z_{\text{уд}} \cdot \Delta l}{Z_{\text{уд}} l_n} = \frac{\Delta l}{l_n} \geq 1,2 k_n - 1 \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что при средней величине коэффициента надежности $k_n = 1,2$ для обеспечения требуемой по ПУЭ чувствительности селективной токовой отсечки необходимо, чтобы длина секционированного участка была не менее чем ~ 45% всей длины линии, предшествующей рассматриваемому секционированному участку. На практике это означает, что применение токовой отсечки для защиты вдольтрассовых ВЛ МГ оправдано только для головных участков линий, где выполняется условие (6). На остальных участках линий условие (6) в большинстве случаев не выполняется.

Таким образом, в общем случае выбор мест установки секционирующих аппаратов на ВЛ должен производиться, исходя, главным образом, из следующих условий:

1) обеспечение чувствительной, селективной и по возможности быстродействующей релейной защиты всей ВЛ;

2) повышения надежности электроснабжения, и, как следствие, уменьшение ущерба от перерывов электроснабжения;

3) повышение культуры эксплуатации электрооборудования.

С технической точки зрения определяющим является условие (1). Вместе с тем, выбор мест установки секционирующих пунктов на вдольтрассовых ВЛ-10 кВ обуславливается конфигурацией распределения электрических нагрузок вдоль ВЛ, которая определяется технологической частью МГ.

Таким образом, расчет РЗиА вдольтрассовых ВЛ-10 кВ производится с учетом заданного размещения секционирующих пунктов вдоль трассы ВЛ [1,3,6], что создает определенные трудности в обеспечении условия (6) при расчете токовой отсечки.

Выбор параметров МТЗ секционирующих пунктов на базе реклоузеров

При расчете МТЗ секционирующих пунктов вдольтрассовых ВЛ-10 кВ МГ, несмотря на отсутствие трудностей с обеспечением требования чувствительности защит, существует проблема выполнения их селективной работы. Причиной этой проблемы являются, в основном, две существенные особенности вдольтрассовых ЛЭП-10 кВ:

- большое количество секционирующих пунктов, установленных на протяжении ВЛ;
- особенности, связанные с балансовой принадлежностью источников питания ВЛ.

Количество СП, устанавливаемых в пределах участка ВЛ, потребители которого в нормальном режиме подключены к одному источнику питания (количество СП до СП с АВР), на вдольтрассовых воздушных ЛЭП может достигать 10 шт. С учетом того, что минимальная ступень селективности, реализуемая в современных устройствах РЗиА, составляет 0,1с, традиционное согласование защит о ступенчатому принципу не позволяет уложиться в объективно реальные выдержки времени защит на головных выключателях, которые не превышают 0,5-1с. Кроме того, головные выключатели ВЛ-10 кВ часто находятся на балансе сетевых организаций АО "Энерго", что приводит к дополнительным сложностям организационного характера при необходимости изменения уставок МТЗ.

Возможным решением проблемы согласования МТЗ секционирующих пунктов при последовательном секционировании является применение зависимых времятоковых характеристик при расчете защит. Однако на практике данный метод не всегда позволяет обеспечить требование селективности РЗиА при большой протяженности ВЛ-10 кВ ввиду небольшого уровня токов короткого замыкания в месте установки СП в конце линии, при котором происходит согласование МТЗ смежных элементов сети.

В настоящее время одним из наиболее перспективных способов решения проблем автоматизации воздушных сетей вдольтрассовых ЛЭП-10 кВ МГ является применение пунктов автоматического секционирования на базе **реклоузеров** [1-3]. Основными составными частями этих автономных устройств являются необслуживаемый вакуумный выключатель и устройство релейной защиты, автоматики и управления. Реклоузеры специально предназначены для обеспечения автоматического секционирования и децентрализованной автоматизации сети ВЛ-6(10) кВ.

Набор функций микропроцессорной системы РЗиА реклоузера обеспечивает эффективную реализацию системы автоматизации воздушных сетей 6-10 кВ. Рассмотрим это на примере реклоузера РВА/TEL. Набор токовых защит реклоузера РВА/TEL имеет четыре независимые группы уставок, позволяющие быстро изменить настройки РЗиА при запланированных изменениях в первичной сети. В каждом наборе уставок могут быть использованы следующие виды защит и автоматики:

1. Трехступенчатая токовая защита от междуфазных коротких замыканий. Каждая ступень может выполняться направленной или ненаправленной и каждая ступень уставки для прямого и обратного направления потока мощности выбираются независимо. Это является необходимым требованием к РЗиА пунктов секционирования, применяемых в схеме с автоматическим сетевым резервированием, когда необходимо автоматически изменять уставки при переключении питания на резервный источник. Высокое быстродействие защиты и силового выключателя позволяет реализовать по специальному алгоритму совместную работу реклоузеров и установленных на ответвлении сети предохранителей. Токовая защита от междуфазных коротких замыканий предусматривает возможность отстройки от бросков токов намагничивания при включении трансформаторов.

2. Защита от замыканий на землю. Защита выполняется одноступенчатой и может быть как направленной, так и ненаправленной. Имеет две группы уставок – по одной для каждого направления мощности.

3. Защита минимального напряжения предусмотрена в двух видах: по фазным напряжениям (реагирует на снижение всех фазных напряжений ниже уставки) и по линейным напряжениям (реагирует на снижение хотя бы одного линейного напряжения).

4. В реклоузере реализовано трехкратное АПВ, что позволяет реализовывать "быстрые" циклы АПВ для мгновенного восстановления питания и традиционные циклы с увеличением выдержки времени бестоковой паузы до 180с. Учитывая высокий коммутационный ресурс выключателя реклоузера – до 30 000 циклов ВО при номинальном токе и 100 циклов ВО при номинальном токе отключения – можно выполнять многократные АПВ для увеличения вероятности устранения неустойчивых КЗ и восстановления питания потребителей. Особенностью АПВ реклоузера является то, что пуск АПВ выполнен отдельными модулями для каждого из видов защит. Также имеется возможность работы с разными характеристиками токовых защит в циклах АПВ.

5. АВР выполняет функцию сетевого резервирования при пропадании питания с одной из сторон реклоузера с односторонним или двухсторонним исполнением.

6. Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) позволяет производить отключение нагрузки или действие на сигнал при снижении частоты ниже уставки.

7. Координация последовательности зон является исключительно реклоузерной функцией, предназначена для координации времятоковых характери-

стик последовательно установленных аппаратов. Режим предусматривает возможность перехода токовых защит от междуфазных КЗ на времятоковые характеристики соответствующего цикла АПВ по факту пуска и возврата защит. Переход осуществляется по факту регистрации превышения измеряемого тока над уставкой (пуск защиты) с последующим его уменьшением ниже тока возврата (возврат защиты) без отключения реклоузера.

Алгоритмы работы автоматики секционирующих пунктов

Важным требованием к системе РЗиА пунктов секционирования и АВР является возможность измерения и индикации параметров режимов сети [1,6]. РЗиА реклоузера совместно со встроенными измерительными датчиками обеспечивает измерение параметров вдольтрассовых ВЛ-10 кВ МГ. Измеряются: фазные токи, фазные и линейные напряжения, ток и напряжение прямой и нулевой последовательности, одно- и трехфазная полная, активная и реактивная энергия, частота, коэффициент мощности и др. Данные об измеренных параметрах регистрируются в журналах. РЗиА реклоузера позволяет отображать график нагрузки по усредненным значениям одно- и трехфазной полной, активной и реактивной мощности в прямом и обратном направлениях.

Наличие функции координации последовательности зон у реклоузера РВА/TEL позволяет в полной мере устранить трудности в организации РЗиА вдольтрассовых ВЛ-10 кВ МГ, связанные с большими длинами ЛЭП и большим количеством секционирующих пунктов, устанавливаемых на ВЛ. С применением реклоузеров РВА/TEL задачу селективной локализации повреждения с учетом ограничения выдержки времени защит на головных выключателях в пределах 0,5-1 с при значительном числе установленных в линии аппаратов можно решить с использованием алгоритма разборки и последовательной сборки сети. Суть алгоритма заключается в одновременном отключении группы реклоузеров до места повреждения (разборка сети), а затем поочередном их включении (сборка сети) до места повреждения.

Рассмотрим алгоритм "разборка-сборка сети" на примере вдольтрассовой ВЛ-10 кВ с двухсторонним питанием, считая, что выдержки времени токовых защит головных выключателей ГВ₁ и ГВ₂ составляют порядка 0,5 с (см. рис. 4).

**Рис. 4. Алгоритм "Разборка-сборка сети" на примере
вдольтрассовой ВЛ с двухсторонним питанием**

Пусть, например, на участке ВЛ от СП₃ до СП_{АВР} (в точке К1) произошло КЗ:

1. Отключается выключатель СП₁. Это обеспечивается соответствующим выбором уставок защит последовательно установленных реклоузеров. В результате происходит автоматический переход МТЗ СП₂ на другую характеристику за счет функции координации последовательности зон.

2. Происходит АПВ секционирующего пункта СП₁. При успешном АПВ нормальная работа вдольтрассовой ВЛ восстанавливается. Если короткое замыкание устойчивое, то одновременно с минимальной выдержкой времени автоматически отключаются реклоузеры СП₂ и СП₃.

3. Происходит АПВ выключателя СП₂ с кратковременно ускоренной ступенью МТЗ. Если бы повреждение находилось на участке от СП₂ до СП₃, ускоренная ступень защиты обеспечила бы отключение СП₂ раньше, чем СП₃.

4. При появлении напряжения со стороны центра питания происходит АПВ СП₃ на КЗ с кратковременно ускоренной ступенью защиты (при этом аналогичная ступень МТЗ СП₂ уже выведена из работы). Выключатель СП₃ отключается с минимальной выдержкой.

5. Происходит включение выключателя СП_{АВР}. Далее реклоузеры работают по аналогичному принципу при питании от резервного источника.

В результате повреждение автоматически локализовано между реклоузерами СП₃ и СП_{АВР}, а питание потребителей, подключенных к неповрежденным участкам сети, автоматически восстановлено. На весь процесс локализации КЗ в линии, в зависимости от количества установленных реклоузеров, требуется от нескольких единиц до нескольких десятков секунд. При этом алгоритм позволяет изменять количество последовательных аппаратов без изменения настроек остальных реклоузеров, что крайне важно для возможности осуществления последующей реконструкции вдольтрассовых ВЛ-10 кВ [4-7].

Выводы

1. Опыт проектирования, строительства и эксплуатации показывает, что вдольтрассовые воздушные ЛЭП-10 кВ магистральных газопроводов обладают рядом особенностей, затрудняющих применение на них традиционных принципов построения РЗА.

2. Одним из перспективных способов решения проблем автоматизации воздушных сетей вдольтрассовых ЛЭП-10 кВ представляется применение пунктов автоматического секционирования на базе реклоузера РВА/TEL.

3. Применение реклоузеров позволяет снизить риск нарушения технологического процесса и возможный ущерб от последствий аварийных процессов при транспортировке газа; снизить затраты на эксплуатацию протяженных вдольтрассовых ВЛ-10 кВ и нагрузки на диспетчерский персонал.

4. Для учета специфики вдольтрассовых ВЛ-6(10) кВ магистральных газопроводов необходимо тесное сотрудничество проектных организаций с заводами-изготовителями реклоузеров.

Список используемых источников:

1. Пужайло А.Ф. и др. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций. Т. 2. Н. Новгород: Вектор ТиС, 2011.
2. Крюков О.В. Частотное регулирование производительности электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2014. №6. С. 39-43.
3. Крупин С.Н., Крюков О.В., Рубцова И.Е. Автоматизированные системы противоаварийной защиты компрессорных станций // Автоматизация в промышленности. 2012. № 6. С. 57-59.

4. Васенин А.Б., Крюков О.В., Серебряков А.В., Плехов А.С. АСУ систем электроснабжения на принципах SMART GRID для объектов магистральных газопроводов // Автоматизация в промышленности. 2012. № 4. С. 36-38.
5. Крюков О.В., Титов В.В. Разработка АСУ автономными ветроэнергетическими установками // Автоматизация в промышленности. 2009. № 4. С.35-37.
6. Серебряков А.В., Крюков О.В. О новых возможностях технологий SMART GRID // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013. № 2. С. 47-48.
7. Милов В.Р., Шалашов И.В., Крюков О.В. Процедуры прогнозирования и принятия решений системе технического обслуживания и ремонта // Автоматизация в промышленности. 2010. № 8. С. 47-49.

References:

1. Pugalo A.F., etc. *Energy Saving and automation of electrical equipment of compressor stations*. Vol. 2. N. Novgorod: Vector Tees, 2011.
2. Kryukov O.V. *Frequency control performance of electrically driven gas pumping units. Electrical equipment: operation and repair*. 2014. No. 6. Pp. 39-43.
3. Krupin S.N., Kryukov O.V., Rubtsova I.E. *Automated emergency protection system of compressor stations. Automation in industry*. 2012. No. 6. P. 57-59.
4. Vasenin A.B., Kryukov O.V., Serebryakov A.V., Plekhov A.S. *Automated control of electrical systems on the principles of SMART GRID for the objects of main gas pipelines. Automation in industry*. 2012. No. 4. P. 36-38.
5. Kryukov O.V., Titov V.V. *the Development of automated control systems of Autonomous wind energy systems. Automation in industry*. 2009. No. 4. P. 35-37.
6. Serebryakov A.V., Kryukov O.V. *About the new capabilities of SMART GRID technologies. Electrical equipment: operation and repair*. 2013. No. 2. P.47-48.
7. Milov V.R., Shalashov V.I., Kryukov O.V. *Procedure of forecasting and decision making system maintenance and repair. Automation in industry*. 2010. No. 8. P. 47-49.

© 2015, Крюков О.В.

Принципы релейной защиты и автоматики
вдольтрассовых линий электропередач

© 2015, Kryukov O.V.

Principles of relay protection and automatic
equipment of along-route power lines