

П. Д. Кутейников

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКЛОУЗЕРОВ С РЕФЛЕКТОМЕТРАМИ**

Волгоградский государственный технический университет

suhanov.pavel@inbox.ru

Возможность обеспечения качественного бесперебойного электроснабжения в значительной степени определяется надежностью воздушных линий электропередачи (ВЛ). Для поиска места повреждения линии в наши дни используется метод поочередного отключения участков сети. Этот метод является весьма затратным по времени, что оказывает серьезный экономический ущерб для потребителей. В данной статье предложен метод поиска поврежденного участка сети при помощи реклоузеров с использованием рефлектометров, а также рассчитан экономический ущерб от недоотпуска электроэнергии для разных секторов потребителей.

Ключевые слова: надежность электроснабжения, аварийные режимы линий электропередачи, рефлектометры, недоотпуск электроэнергии, экономический ущерб от недоотпуска

P. D. Kuteynikov

**INCREASING OF THE POWER SUPPLY RELIABILITY THROUGH
THE USE OF RECLOSERS WITH REFLECTOMETERS**

Volgograd State Technical University

The ability to provide high-quality uninterrupted power supply is largely determined by the reliability of overhead power lines (OHL). To find the location of a line fault, the method of disconnecting sections of the network one by one is used nowadays. This method is very time-consuming, which causes serious economic damage to consumers. This article proposes a method for searching for a damaged section of the network using reclosers using reflectometers, and also calculates the economic damage from the undersupply of electricity for different consumer sectors.

Keywords: reliability of power supply, emergency modes of power lines, reflectometers, undersupply of electricity, economic damage from undersupply

Введение

Электроэнергия является одной из важнейшей составляющей жизни современного человека. Электричество обеспечивает людей теплом, светом, водоснабжением и дистанционной связью с внешним миром. Обеспечение бесперебойного электроснабжения является довольно актуальной проблемой в наши дни, когда количество потребителей и, как следствие, нагрузка на сеть возрастает каждый день.

Отключение электроэнергии может быть классифицировано как:

- запланированное – когда потребители ранее были уведомлены;
- случайное – вызвано временными или постоянными сбоями, в основном связанными с внешними событиями, такими как отказы оборудования или вмешательство третьей стороны. Случайное прерывание классифицируется как длительное (>3 мин), короткое (<3 мин) или переходное (<1 сек).

В случае запланированных отключений, когда у потребителей существует возможность принять необходимые меры для минимизации ущерба, случайные перебои, особенно длительные, могут иметь самые разные последствия. Для обычных жителей в числе таких может быть отключение бытовых приборов, либо, при возникновении скачка напряжения в начальной стадии аварии, выход техники из строя или опасность поражения током человека.

Для бизнеса или производства последствия могут быть более серьезными. Среди них – потеря доступа к важным документам или базам данных в цифровой форме или отключение ответственных серверов. Недоотпуск электроэнергии для бизнеса и предприятий опасен также с экономической точки зрения в плане простоя производства, нарушения технического процесса.

Существует множество методов определения места аварии для оперативного ремонта и возвращения сети в рабочее состояние [1, 2]. Рассмотрим сеть электроснабжения потребителей 6–10 кВ с использованием реклоузеров. Реклоузер – это устройство, предназначенное для автоматического отключения, а также повторного включения цепи переменного тока в режимах КЗ и без КЗ по предварительно заданной последовательности циклов отключения и включения с последующим возвратом АПВ в исходное состояние [3, 4]. Реклоузеры предназначены для реконфигурации сети без непосредственного участия человека.

В сетях с использованием реклоузеров имеют место случаи неселективности срабатывания аппаратов защиты [5]. Причинами данного происшествия могут быть неисправности при изготовлении, неправильный выбор уставки и др.

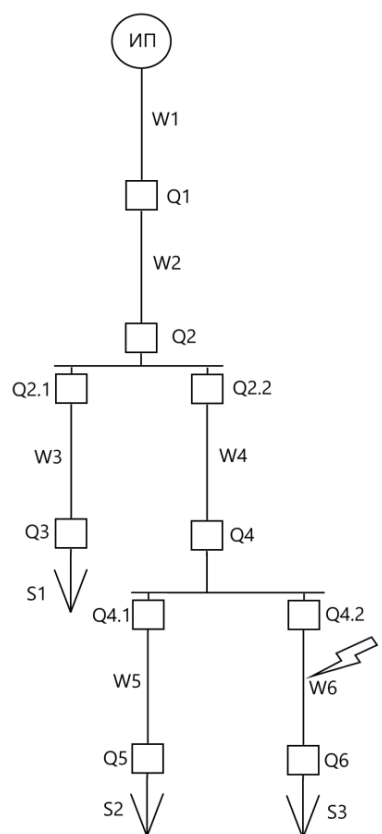


Рис. 1. Схема сети электроснабжения с поврежденной ВЛЭП

Применение реклоузеров может повысить надежность систем электроснабжения потребителей, поскольку они обеспечивают переключение коммутационных аппаратов без участия оперативного персонала. Также существует метод поиска поврежденной линии электропередач при помощи попеременного отключения каждого участка сети реклоузерами [6]. Однако в случае неселективного срабатывания защитных аппаратов, упомянутого выше, данный метод повлечет за собой отключение электроснабжения потребителей на довольно длительное время. Для более подробного объяснения данного метода на рис. 1 приведена схема электроснабжения потребителей с повредившейся линией W6.

В примере из-за неселективного отключения сработал коммутационный аппарат Q1. Для поиска поврежденного участка линии отключается аппарат Q2 и подается напряжение в сеть.

Если устройство релейной защиты не сработало, то можно сделать вывод, что линия W2 цела. Далее включаются выключатели Q2 и Q2.1 при отключенных остальных. При подаче напряжения в сеть и несрабатывании релейной защиты выясняется, что линия W3 цела. Затем включаются выключатели Q2 и Q2.2 при отключенных остальных. При подаче напряжения в сеть и несрабатывании релейной защиты становится ясно, что линия W4 цела. Далее при подаче напряжения в сеть при включенных выключателях Q4 и Q4.1 и отключенных остальных подтверждается целостность W5 при условии несрабатывания релейной защиты. После подобного алгоритма действий для выключателей Q4 и Q4.2 выясняется, что авария произошла на линии W6.

Неоспоримым преимуществом данного ме-

тода поиска аварийного участка является возможность включения остального неповрежденного участка линии без необходимости выезда оперативного персонала. Однако, в том числе и в приведенном примере, процесс поиска поврежденной линии с последующим включением целых участков может занимать длительное время, что приносит значительные убытки за счет недоотпуска электроэнергии.

Для ускорения поиска поврежденного участка цепи предлагается использовать метод отраженных импульсов при помощи установки в реклоузеры рефлектометров [7].

Рефлектометр представляет из себя прибор, принцип действия которого основан на локации зондирующего импульса по контролируемому участку линии и на измерении времени задержки отраженного от места аварии импульса.

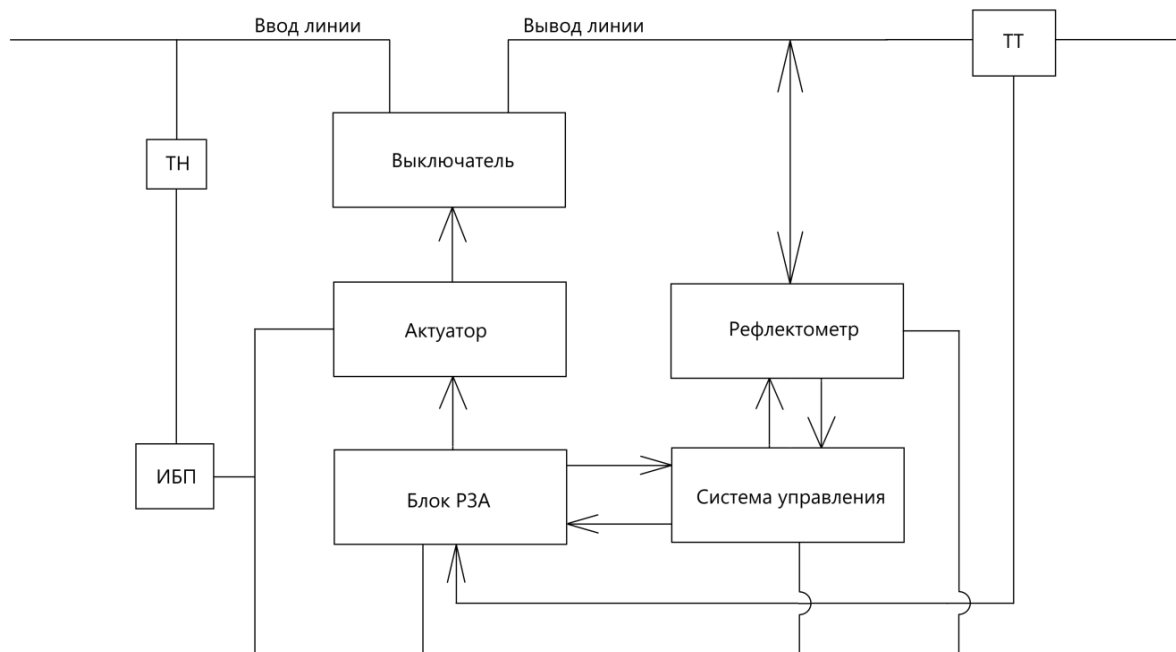


Рис. 2. Схема реклоузера с использованием рефлектометра

Применение метода отраженных импульсов в линии под напряжением предполагает использование высокочастотных фильтров и заградителей. Однако при неселективном отключении сети существует возможность дать команду на отключение всех выключателей. Каждый участок сети оказывается изолированным с двух сторон. Затем при помощи рефлектометров происходит единовременное зондирование каждого участка – по линиям подается короткий электрический импульс. Если линия повреждена, то импульс отражается обратно в прибор. Далее происходит регистрация импульсов, отраженных от места повреждения и неодно-

родностей волнового сопротивления линии. Для корректного определения места повреждения необходимо произвести выделение полезного сигнала на фоне случайных помех и отражений от неоднородностей линий. После этого определяется расстояние до места повреждения по временной задержке отраженного импульса относительно зондирующего. Таким образом происходит определение аварийного участка линии. Затем целые участки включаются в работу, а поврежденный остается изолированным. В примере, приведенном на рис. 1, будут единовременно отключены линии W2, W3, W4, W5 и W6, определено место повреждения и затем

целые линии включатся в работу. Преимущество данного метода заключается в малых затратах времени на поиск поврежденного участка линии и, как следствие, уменьшении недоотпуска электроэнергии.

Ущерб от недоотпуска электроэнергии в USD при известном электропотреблении P рассчитывается по формуле:

$$Y = a \cdot P + b \cdot t \cdot P,$$

где a – постоянная (фиксированная) часть ущерба (USD/кВт); b – переменная часть ущерба (USD/кВт·ч); t – продолжительность отсутствия электроснабжения (ч); P – потребляемая мощность (кВт).

Значения a и b принимаются в зависимости от характера потребительского сектора (табл. 1).

Таблица 1

Потребительский сектор	Сельский	Бытовой	Промышленный	Обслуживание	Муниципальный
Постоянная составляющая «а», USD/кВт	0	0	1,2	1,1	0,5
Переменная составляющая «b», USD/кВт·ч	8,1	1,6	12,2	7,8	4,8

Для построения графиков зависимостей стоимости недоотпуска электроэнергии от времени отсутствия электроснабжения были взя-

ты значения для сельского, бытового и промышленного секторов с потребляемой мощностью 3000 Вт.

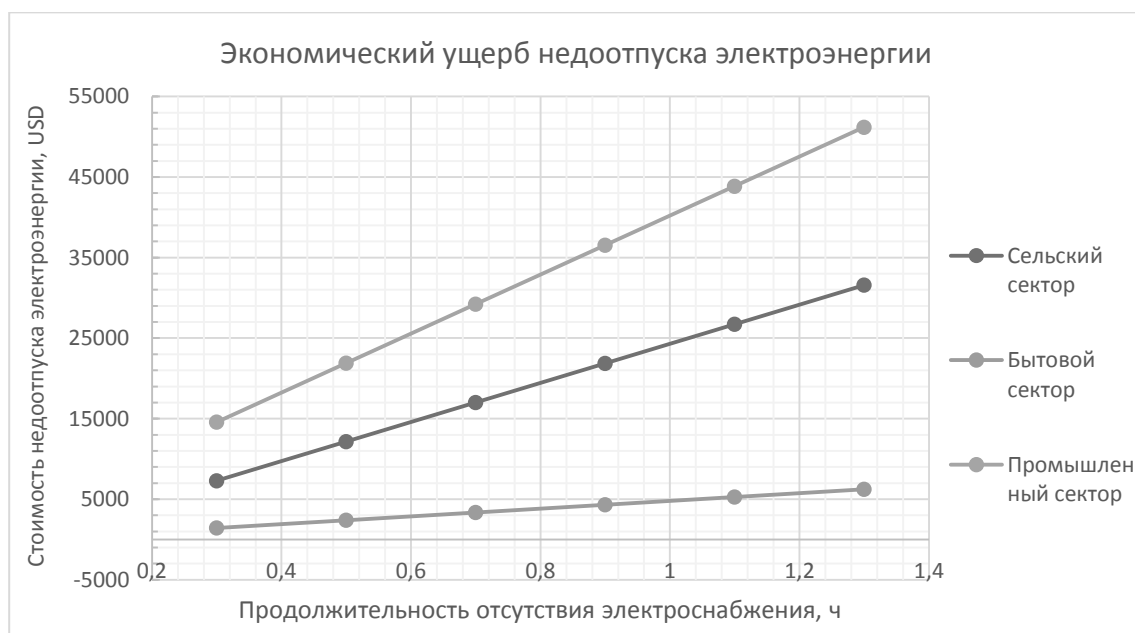


Рис. 3. График зависимости стоимости недоотпуска электроэнергии от времени отсутствия электроснабжения

Вывод

Предложенный метод имеет неоспоримое преимущество по сравнению с использованием обычных реклоузеров – весомое снижение временных затрат на поиск поврежденного участка линии, сохраняя при этом достоинство в виде отсутствия необходимости непосредственного участия оперативного персонала в поиске аварии. Однако у рефлектометров есть и недостат-

ки, среди которых реакция на неоднородности, не являющиеся повреждениями.

Из анализа стоимости недоотпуска электроэнергии следует, что экономический ущерб более ощутим для промышленного сектора потребителей, чем для бытового, в 10–11 раз. Таким образом, предложенный метод более востребован для применения на крупных заводах, производствах и промышленных предприятиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аржанников, Е. А.* Методы и приборы определения места короткого замыкания на линиях: учеб. пособие / Е. А. Аржанников, А. М. Чухин. – Иваново: Ивановский гос.энергетич. ун-т, 1998. – 74 с.
2. *Блинов, И. В.* Мониторинг воздушных линий электропередачи с использованием индикаторов повреждений / И. В. Блинов, Е. В. Парус, Е. Ю. Полищук // Электроэнергетические системы и сети. – 2013. – № 4. – С. 42–44.
3. Реклоузер как инструмент повышения надежности / Т. М. Сивеев, А. С. Сорокин, А. Г. Груздов, Д. А. Дегтярев // Столыпинский вестник. – 2022. – Т. 4, № 5. – EDN DNQJEM.
4. Afroz Alam. Switch and recloser placement in distribution system considering uncertainties in loads, failure rates and repair rates / Afroz Alam, Vinay Pant, Biswarup Das // Electric Power Systems Research, Volume 140, November 2016. – P. 619–630.
5. *Попова, И. Э.* Улучшение работы систем электроснабжения за счет применения новых технических устройств / И. Э. Попова // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. – 2021. – № 1(57). – С. 27–34. – EDN XXJALV.
6. *Чекунов, М. А.* Повышение надежности электрических сетей 6(10) КВ посредством применения автоматических пунктов секционирования / М. А. Чекунов // Современные проблемы науки и образования : материалы Международной (заочной) научнопрактической конференции, Нефтекамск, 18 августа 2020 года. – Нефтекамск: Научно-издательский центр «Мир науки» (ИП Вострецов Александр Ильич), 2020. – С. 89–94. – EDN TNKRSA.
7. *Шилин, А. Н.* Расчет погрешностей рефлектометров для мониторинга линий электропередачи / А. Н. Шилин, А. А. Шилин, Н. С. Артюшенко // Контроль. Диагностика. – 2015. – № 9. – С. 52–59. – DOI 10.14489/td.2015.09.pp.052–059. – EDN UCLULP.