Андрианова Л.П., Кабашов В.Ю., Хайрисламов Д.С.
Оценка уровня надежности в сельской распределительной сети с
интеллектуальными реклоузерами по индикативным показателям SAIFI и SAIDI
Баширский государственный аграрный университет
(Россия, Уфа)

doi: 10.18411/lj-12-2018-168

idsp: ljjournal-12-2018-168

Аннотация

Реклоузер — устройство автоматического управления и защиты воздушных ЛЭП на основе вакуумных выключателей под управлением специализированного микропроцессора. В статье рассмотрена методика определения уровня надежности кольцевого фидера с интеллектуальными реклоузерами в сельской воздушной электрической сети 6-35 кВ по индикативным показателям SAIFI и SAIDI.

Ключевые слова: Сельские распределительные сети, кольцевой фидер, секционирующие реклоузеры, надежность электроснабжения, индикативные показатели.

Низкая надежность электроснабжения сельских потребителей, наличие участков, проходящих в лесистой местности, частые повреждения и длительное время их поиска в воздушных распределительных электрических сетях среднего класса напряжений (6, 10, 20, 35 кВ), обуславливают необходимость перехода к сетям нового технологического уклада с качественно новыми характеристиками надежности, эффективности, доступности и управляемости [1, 2, 3].

В соответствии с положением ПАО «Россети» «Об единой технической политике в электросетевом комплексе» программой инновационного развития электросетевого комплекса предусматривается внедрение в сетях среднего класса напряжений перспективных технологий на основе интеллектуальных коммутационных аппаратов - реклоузеров с интегрированными контроллерами присоединений и возможностью интеграции в единую информационную систему управления, максимально в идеологии Plug and Play [1, 2].

При внедрении интеллектуальных коммутационных аппаратов - реклоузеров приоритет следует отдавать решениям по распределенной (или децентрализованной) автоматизации сети, предполагающей создание кольцевых фидеров с однократным автоматическим резервированием и автоматическим секционированием магистрали [1].

Распределенная автоматизация аварийных режимов работы сетей основана на принципах автоматического секционирования и резервирования воздушных линий электропередачи. Каждый отдельный секционирующий аппарат является интеллектуальным устройством, которое анализирует режимы работы электрической сети и автоматически производит ее реконфигурацию в аварийных режимах, т.е. локализацию места повреждения и восстановление электроснабжения потребителей на неповрежденных участках сети.

Эффект достигается за счет сокращения количества отключений потребителей при неустойчивых повреждениях, автоматизации процесса локализации поврежденного участка, применения полностью необслуживаемого оборудования.

Повышение надежности электроснабжения сельских распределительных сетей 6-35 кВ, оснащенных секционирующими реклоузерами - выключателями, обеспечивается за счет [5, 6,]:

- секционирования сети, что позволяет локализовать поврежденные участки, сохраняя при этом электроснабжение остальных потребителей питающего фидера и подавая питание на неповрежденный участок от резервного источника питания;

- сокращения времени обслуживания, ремонта, так как секционирование сети позволяет уменьшить время определения поврежденного участка фидера и его локализацию;
- наблюдаемости сети с помощью автоматизированных информационно-измерительных систем контроля качества и учета электроэнергии, мониторинга параметров ЛЭП, автоматизации учёта отключений и формирования статистики повреждений и пр.;
- управляемости сети путем управления отдельными коммутационными аппаратами и ведения режима сети дистанционно из SCADA системы и по месту [1].

В соответствии с приказами Министерства энергетики РФ [2, 3] оценка уровня надежности и качества электроснабжения распределительной сети осуществляется по индикативным показателям надежности (SAIFI и SAIDI).

Показатель надежности SAIFI – (System Average Interruption Frequency Index – средняя частота появления повреждений в системе) – характеризует среднее количество отключений потребителей в год, [откл. / год],[6]

$$SAIFI = \sum(\omega_i \cdot Ni) / \sum Ni, (1)$$

где ω_i – количество отключений потребителей i -го участка фидера, откл./год;

Ni – количество потребителей i -го участка фидера, шт.;

i – количество участков фидера, шт.,

$$\omega_i = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{ну}}) \cdot Li, (2)$$

где ω_0 – удельная частота повреждений на 100 км линии, откл./год;

$k_{\text{ну}}$ – коэффициент, учитывающий наличие многократных АПВ на устранение неустойчивых повреждений в сети: $k_{\text{ну}} = 0$ при отсутствии АПВ;

$k_{\text{ну}} = 0,6$ при наличии однократного АПВ; $k_{\text{ну}} = 0,8$ при наличии двукратного АПВ;

Li – суммарная длина участков фидера, при повреждении на которых происходит отключение потребителей i -го участка, км;

$$\omega_0 = n_{\text{откл}} \cdot 100 / L, (3)$$

где $n_{\text{откл}}$ – количество отключений фидера в год, откл./год;

L – длина линии, км.

Показатель надежности SAIDI – (System Average Interruption Duration Index – средняя продолжительность отключения) – характеризует в среднем продолжительность одного отключения в системе в год, [ч / год] [6]

$$SAIDI = \sum(T_i \cdot Ni) / \sum Ni, (4)$$

где T_i – время перерыва электроснабжения потребителей i -го участка фидера, ч/год,

$$T_i = \omega_i \cdot T \cdot k_{\text{вв}}, (5)$$

где T – среднее время восстановления одного устойчивого повреждения, ч;

$k_{\text{вв}}$ – коэффициент, учитывающий влияние сокращения зоны поиска поврежденного участка за счет секционирования на общее время восстановления электроснабжения, при наличии автоматических пунктов секционирования принимается равным $k_{\text{вв}} = 0,6$.

$$T = T_{\text{пер}} \cdot n_{\text{откл.}}, (6)$$

где $T_{\text{пер}}$ – общее время перерыва электроснабжения при аварийных отключениях фидера, [ч/год];

$n_{\text{откл.}}$ – количество аварийных отключений фидера, приводящих к перерыву электроснабжения, [откл. /год].

Выбор мест установки интеллектуальных реклоузеров осуществляется по критерию минимального значения показателя SAIFI. Минимальное значение SAIFI достигается при равенстве произведения количества потребителей (N) на протяжённость фидера (L) со всеми отпайками на каждом из участков сети [5].

$$Ni \cdot Li \approx \text{const}, (7)$$

где N_i – количество потребителей, подключённых к участку i ;
 L_i – суммарная протяжённость фидера с отпайками на участке i , км.

Методика определения уровня надежности сети по индикативным показателям *SAIFI* и *SAIDI* до и после установки секционирующих реклоузеров показана на примере кольцевого фидера.

С целью повышения надежности электроснабжения потребителей предусматривается установка секционирующих реклоузеров и организация двукратного автоматического повторного включения (АПВ) и защиты минимального напряжения (ЗМН) на головных выключателях кольцевого фидера [5, 6].

Рисунок 1. Схема кольцевого фидера до установки реклоузеров:
 №1, №4, №5 – номера потребителей линии 1 от подстанции 1;
 №2, №3, №6 – номера отпайки линии 2 от подстанции 2

Схемы кольцевого фидера до и после установки реклоузеров приведены соответственно на рисунках 1 и 2.

Рисунок 2. Схема кольцевого фидера после установки реклоузеров:
 R1, R2, R3 – реклоузеры

В таблице 1 указаны длины участков фидера, номера и количество потребителей, получающих питание от подстанций 1 и 2.

Таблица 1.

Длины участков, номера и число потребителей на участках

Номер участка, номера потребителей	Количество потребителей, N , шт.	Длина участка, км
1, №4	$N_1 = 6$	$L_1 = 1,5 + 0,5 + 2,0 = 4$
2, №1, №5	$N_2 = 1 + 2 = 3$	$L_2 = 0,5 + 4,5 + 1,5 + 0,5 = 7$
3, №2	$N_3 = 20$	$L_3 = 0,5$
4, №3, №6	$N_4 = 1 + 5 = 6$	$L_4 = 1,0 + 2,0 + 2,5 + 0,5 + 3,5 = 9,5$
	$N_{\Sigma} = 35$	$L_{\Sigma} = 20$

Исходными данными для расчета показателей надежности *SAIFI* и *SAIDI* являются: удельная частота повреждений на 100 км линии в год, откл., среднее время

восстановления одного устойчивого повреждения, ч, и наличие АПВ на головном выключателе (таблица 2).

Таблица 2.

Исходные данные для расчета

Фидер	Удельная частота повреждений на 100 км линии в год, откл.	Среднее время восстановления одного устойчивого повреждения, ч	АПВ на головном выключателе
1	24	6	однократное
2	37	6	отсутствует

Для расчета показателей надежности фидер разбит на участки 1, 2, 3, 4, как показано на рисунке 3.

Рисунок 3. Схема кольцевого фидера с разделением на участки 1-4

Расчет величин ω_i и T_i до и после установки реклоузеров проведен с использованием соответствующих расчетных соотношений (2), (3) и (5), (6) с учетом длин участков фидера в соответствии с рисунком 3.

Результаты расчета количества и длительности отключений на участках фидера до и после установки реклоузеров приведены соответственно в таблицах 3 и 4.

Таблица 3.

*Количество и длительность отключений на участках фидера до установки
реклоузеров*

Количество отключений на участках фидера, ω_i откл./год		Длительность отключений на участках фидера, T_i ч./год	
Расчетная формула	Результат	Расчетная формула	Результат
$\omega_1 = \omega_2 = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{нy}}) \cdot (L_1 + L_2),$ где $\omega_0 = 24$; $k_{\text{нy}} = 0,6$; $L_1 + L_2 = 11$	$\omega_1 = \omega_2 = 1,06$	$T_1 = \omega_1 \cdot T \cdot k_{\text{вв}};$ $T_2 = T_1,$ где $\omega_1 = \omega_2 = 1,06$; $T = 6, k_{\text{вв}} = 1;$	$T_1 = T_2 = 6,4$
$\omega_3 = \omega_4 = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{нy}}) \cdot (L_3 + L_4),$ где $\omega_0 = 37$; $k_{\text{нy}} = 0$; $L_3 + L_4 = 10$	$\omega_3 = \omega_4 = 3,7$	$T_3 = \omega_3 \cdot T \cdot k_{\text{вв}};$ $T_4 = T_3,$ где $\omega_3 = \omega_4 = 3,7$; $T = 6, k_{\text{вв}} = 1;$	$T_3 = T_4 = 22,2$

Таблица 4.

*Количество и длительность отключений на участках фидера после
установки реклоузеров*

Количество отключений на участках фидера, ω_i откл./год		Длительность отключений на участках фидера, T_i ч./год	
Расчетная формула	Результат	Расчетная формула	Результат
$\omega_1 = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{нy}}) \cdot L_1,$ $\omega_0 = 24$; $k_{\text{нy}} = 0,8$; $L_1 = 4$	$\omega_1 = 0,19$	$T_1 = \omega_1 \cdot T \cdot k_{\text{вв}};$ $\omega_1 = 0,19$; $T = 6$; $k_{\text{вв}} = 0,6$	$T_1 = 0,7$
$\omega_2 = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{нy}}) \cdot L_2,$ $\omega_0 = 24$; $k_{\text{нy}} = 0,8$; $L_2 = 7$	$\omega_2 = 0,34$	$T_2 = \omega_2 \cdot T \cdot k_{\text{вв}};$ $\omega_2 = 0,34$; $T = 6$; $k_{\text{вв}} = 0,6$	$T_2 = 1,2$
$\omega_3 = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{нy}}) \cdot L_3,$ $\omega_0 = 37$; $k_{\text{нy}} = 0,8$; $L_3 = 0,5$	$\omega_3 = 0,04$	$T_3 = \omega_3 \cdot T \cdot k_{\text{вв}};$ $\omega_3 = 0,04$; $T = 6$; $k_{\text{вв}} = 0,6$	$T_3 = 0,01$
$\omega_4 = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{нy}}) \cdot L_4,$ $\omega_0 = 37$; $k_{\text{нy}} = 0,8$; $L_4 = 9,5$	$\omega_4 = 0,7$	$T_4 = \omega_4 \cdot T \cdot k_{\text{вв}};$ $\omega_4 = 0,7$; $T = 6$; $k_{\text{вв}} = 0,6$	$T_4 = 2,5$

Обоснование выбора коэффициентов $k_{\text{нy}}$ и $k_{\text{вв}}$ при расчетах величин ω_i и T_i до установки реклоузеров:

- на участках 1 и 2 $k_{\text{нy}} = 0,6$, т.к. на головном выключателе имеется однократное АПВ и по статистике снижающее количество отключений потребителей при неустойчивых повреждениях на 60%;
- на участках 3 и 4 коэффициент $k_{\text{нy}} = 0$, т.к. на головном выключателе отсутствует АПВ;
- коэффициент $k_{\text{вв}} = 1$ в связи с отсутствием секционирования [5].

Обоснование выбора коэффициентов $k_{\text{нy}}$ и $k_{\text{вв}}$ при расчетах величин ω_i и T_i после установки реклоузеров:

- коэффициент $k_{\text{нy}} = 0,8$, т.к. на головном выключателе и реклоузерах имеется двукратное АПВ и по статистике снижающее количество отключений потребителей при неустойчивых повреждениях на 80% [5];
- коэффициент $k_{\text{вв}} = 0,6$ в связи с сокращением зоны поиска поврежденного участка за счет секционирования.

Результаты расчета результирующего уровня надежности по показателям *SAIFI* и *SAIDI* кольцевого фидера до и после установки реклоузеров приведены соответственно в таблицах 5, 6.

Расчет показателей *SAIFI* и *SAIDI* проведен на основе соотношений (4) и (5).

Таблица 5.

Показатели уровня надежности фидера без реклоузеров

Показатель SAIFI, откл./год	
Расчетная формула	Результат, откл./год
$SAIFI = \sum(\omega_i \cdot N_i) / N_{\Sigma}$, где $\sum \omega_i \cdot N_i = 105,76$; $N_{\Sigma} = 35$	$SAIFI = 3,02$
Показатель SAIDI, ч./год	
Расчетная формула	Результат, ч/год
$SAIDI = \sum(T_i \cdot N_i) / N_{\Sigma}$, где $\sum(T_i \cdot N_i) = 634,8$; $N_{\Sigma} = 35$	18,1

Таблица 6.

Показатели уровня надежности фидера с реклоузерами

Показатель SAIFI, откл./год	
Расчетная формула	Результат, откл./год
$SAIFI = \sum(\omega_i \cdot N_i) / N_{\Sigma}$, $\sum \omega_i \cdot N_i = 7,16$; $N_{\Sigma} = 35$	$SAIFI = 0,2$
Показатель SAIDI, ч./год	
Расчетная формула	Результат, ч/год
$SAIDI = \sum(T_i \cdot N_i) / N_{\Sigma}$, $\sum(T_i \cdot N_i) = 24,8$; $N_{\Sigma} = 35$	0,7

Результаты для сравнительного анализа показателей надежности SAIFI и SAIDI кольцевого фидера до и после установки реклоузеров приведены в таблице 7.

Таблица 7.

Сравнительный анализ показателей SAIFI и SAIDI фидера до и после установки реклоузеров

Показатели SAIFI Количество отключений потребителей, откл. / год		Показатели SAIDI Длительность отключений потребителей, ч / год	
до установки реклоузера	после установки реклоузера	до установки реклоузера	после установки реклоузера
3,02	0,2	18,1	0,7

Таким образом, после установки секционирующих реклоузеров в кольцевом фидере отмечается значительное снижение индикативных показателей SAIFI и SAIDI, на 2,78 откл. / год и 17, 4ч / год соответственно. Полученные данные свидетельствуют о значительном снижении количества и длительности перерывов электроснабжения потребителей в 15 и 18 раз соответственно.

Выводы

1. Применение в распределительных сетях 6-35 кВ интеллектуальных секционирующих устройств – реклоузеров направлено на обеспечение децентрализованной автоматизации и управляемости сети, повышение надежности и качества электроснабжения без проведения традиционной реконструкции фидеров.

2. Секционирующие устройства – реклоузеры целесообразно использовать в сети для организации АВР и АПВ, защиты минимального напряжения, максимальной токовой защиты, защиты от однофазных замыканий на землю, подключения новых потребителей.

3. Оценка уровня надежности и качества электроснабжения распределительной сети осуществляется по индикативным показателям SAIFI и SAIDI, характеризующим соответственно количество и длительность отключений в сети за рассматриваемый период.

4. После определения показателя SAIFI место размещения реклоузеров в распределительной сети корректируется в соответствии с требованиями ПУЭ [4]: по условиям близости к дорогам, по условию отсутствия связи, по условиям неравномерности распределения потребителей по фидеру [5, 7].

1. Андрианова Людмила Прокопьевна, доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения и применения электрической энергии в сельском хозяйстве ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34. Тел.: 8-917-4981104, e-mail : alp3003@yandex.ru.

2. Кабашов Владимир Юрьевич, доктор технических наук, доцент кафедры безопасности и жизнедеятельности ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34. Тел.: 8-905-0079812, e-mail: kabashov@bk.ru.
 3. Хайрисламов Данил Сулейманович, аспирант кафедры электроснабжения и применения электрической энергии в сельском хозяйстве ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34. Тел.: 7(937) 3691330, e-mail: hairislamow2014@yandex.ru
-