
УДК 621.311

АЛГОРИТМ РЕКОНФИГУРАЦИИ ГОРОДСКОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

© 2020 г. И. И. Голуб¹, *, О. Н. Войтов¹, Е. В. Болоев¹, Л. В. Семенова¹

¹Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск, Россия

*e-mail: golub@isem.irk.ru

Поступила в редакцию 18.06.2020 г.

После доработки 27.07.2020 г.

Принята к публикации 30.07.2020 г.

Решается проблема реконфигурации городской распределительной сети с использованием быстродействующего алгоритма реконфигурации по критерию минимизации потерь активной мощности, заключающегося в построении на графе сети максимального покрывающего дерева и определении состава ветвей независимых контуров. Информация об особенностях топологии распределительной сети позволяет определить варианты линейных выключателей, которые могут использоваться для восстановления электроснабжения при аварийном отключении не только любого из секционных выключателей, но и любого из фидерных выключателей, и выделить в сети подсистемы деревьев, в которых резервирование нагрузок не обеспечивается. Работоспособность алгоритма проиллюстрирована на примерах тестовой и реальной распределительных сетей.

Ключевые слова: городская распределительная сеть, реконфигурация, максимальное покрывающее дерево, надежность и восстановление электроснабжения

DOI: 10.31857/S0002331020050052

ВВЕДЕНИЕ

Наибольшие потери, составляющие 10–13% от всей произведенной энергии, происходят в распределительных сетях, поэтому использование алгоритмов реконфигурации остается актуальным для инженеров и исследователей не только для обеспечения надежности электроснабжения, но и для снижения потерь. В работе решается проблема реконфигурации первичной слаботамкнутой распределительной сети среднего напряжения. Благодаря наличию в сети нормально разомкнутых линейных выключателей она работает как радиальная, что позволяет использовать упрощенную модель релейной защиты сети от больших токов. Главным назначением реконфигурации является быстрое восстановление электроснабжения максимального числа потребителей замыканием линейного выключателя при аварийном отключении секционного [1].

В мире для решения проблемы реконфигурации разработано множество алгоритмов и постоянно предлагаются новые алгоритмы и критерии реконфигурации, новые условия и ограничения. Среди критериев реконфигурации, кроме надежности электроснабжения, можно выделить снижение потерь энергии, потерь напряжения, балансирование нагрузки и генерации, усиление сети с использованием источников распределенной генерации [2].

Наибольшее применение для различных критериев реконфигурации нашли эвристические оптимизационные алгоритмы, такие как генетические алгоритмы [3], алгоритмы поиска с запретами – Tabu search [4], алгоритмы колонии муравьев [5, 6], алго-

ритмы поиска гармонии [7], алгоритм оптимизации роя частиц [8]. Однако трудоемкость современных эвристических алгоритмов затрудняет их использование в реальном времени, особенно для систем большой размерности.

В эвристических алгоритмах, кроме допустимости узловых напряжений и токов в секциях, важнейшим ограничением, которое должно учитываться в процессе реконфигурации, является сохранение радиальности топологии распределительной сети.

В алгоритме реконфигурации сети [9] по критерию минимизации потерь мощности, использование включенных в программу расчета установившегося режима алгоритмов построения максимального покрывающего дерева [10] и определения ветвей независимых контуров по их хордам [11], проверка радиальности сети не требуется, но возникает другая проблема, связанная определением контуров в сети с несколькими источниками питания. Приведем краткое описание модификации алгоритма реконфигурации, позволившей решить эту проблему.

АЛГОРИТМ РЕКОНФИГУРАЦИИ

В предыдущих работах авторов, связанных с проблемой реконфигурации [9, 12, 13], полагалось наличие у распределительной сети единственного источника питания, что не характерно для реальных распределительных сетей, фидеры которых получают питание от нескольких источников. В этом случае используемый при реконфигурации алгоритм построения связного дерева [9] после замыкания линейных выключателей не позволяет идентифицировать фидеры с двухсторонним питанием как контуры и выделить в них хорды, соответствующие линейным выключателям. Для исключения этой ситуации потребовалось до использования алгоритма реконфигурации все узлы с источниками питания объединить в один балансирующий узел при предположении, что во всех узлах с источниками питания напряжения одинаковые. В этом случае, например, в сети с двухсторонним питанием в покрывающее дерево войдут все узлы, а при объединении узлов источников в один узел образуется контур, одна из ветвей которого, может быть выбрана в качестве хорды.

Алгоритм реконфигурации [9] содержит два шага, при реализации которых потери активной мощности в разомкнутой сети становятся максимально близкими к потерям мощности в замкнутой сети, а сумма токов в хордах максимального покрывающего дерева минимальной.

В начале первого шага работы алгоритма все линейные выключатели полагаются замкнутыми. Затем на каждой итерации, число которых равно числу независимых контуров в графе сети, производится расчет потокораспределения, построение максимального покрывающего дерева, весами ветвей которого являются модули токов в ветвях, и размыкание хорды с минимальным током. Таким образом, в результате уже первого шага реконфигурации, обладающем минимальной трудоемкостью, определяется новый состав разомкнутых хорд, соответствующих линейным выключателям, при котором потери мощности в сети, как правило, существенно ниже потерь мощности при заданном или произвольно выбранном составе разомкнутых линейных выключателей.

На втором шаге реконфигурации исследуется возможность снижения потерь мощности в сети, заменой разомкнутых на первом шаге хорд на ветви покрывающего дерева в связанных с хордами контурах. Для этого производится последовательное замыкание каждой из разомкнутых на первом шаге хорд, определение состава ветвей связанного с хордой контура и расчет потокораспределения. В замкнутом контуре слева и справа от узлов хорды выделяются узлы, имеющие степень больше двух, имитируется последовательное размыкание ветвей, находящихся между такими узлами, производится расчет потокораспределения и определение суммарных потерь. Предыдущая или новая хорда, которой соответствуют минимальные суммарные потери, размыка-

ется. Если в контуре отсутствуют узлы со степенью больше двух, то имитируется отключение всех ветвей контура.

Алгоритм реконфигурации [9] позволяет также определить варианты линейных выключателей, которые могут использоваться для восстановления электроснабжения при аварийном отключении не только любого из секционных выключателей [16], но и любого из фидерных выключателей. Поскольку одна и та же ветвь покрывающего дерева может входить в несколько контуров, восстановление режима при аварийном отключении секционного или фидерного выключателя может быть обеспечено включением любого из связанных с ним общим контуром линейных выключателей. Критерием для выбора линейного выключателя могут быть, например, минимальные потери мощности в сети после реконфигурации.

Для выделения подсистем деревьев, нагрузки которых не имеют резервного источника питания, в алгоритме выполняются следующие действия. Из списка ветвей графа сети исключаются ветви, вошедшие в контуры, и ветви, являющиеся хордами этих контуров. Оставшиеся ветви упорядочиваются по убыванию текущих в них мощностей и строятся подсистемы покрывающих деревьев, включающие от одной до нескольких ветвей. Для каждой подсистемы, получающей одностороннее питание, определяется суммарная мощность нагрузок и выделяется подсистема с максимальной мощностью.

Важнейшей характеристикой алгоритма реконфигурации является высокая скорость получения решения при высокой точности расчета потокораспределения, кроме того, алгоритм позволяет успешно решать проблему реконфигурации и при наличии в сети источников возобновляемой генерации.

Отметим также, что в реальной распределительной сети для нескольких фидеров, подключенных к одному источнику питания, линейные выключатели вводятся как между узлами фидера, так и узлами разных фидеров. При нескольких источниках питания линейные выключатели вводятся также между узлами фидеров, получающих питание от разных источников. Реконфигурация такой сети может привести как к новой радиальной топологии отдельных фидеров, так и новой радиальной топологии, определяющей принадлежность потребителей к источникам питания

Эффективность работы предложенного алгоритма подтверждена на примере тестовой распределительной сети с двумя источниками питания (далее схема 1), рассмотренной в [14, 15], и реальной городской распределительной сети с шестью источниками питания (далее схема 2).

1. ИЛЛЮСТРАЦИЯ РАБОТЫ АЛГОРИТМА РЕКОНФИГУРАЦИИ НА ПРИМЕРЕ СХЕМЫ 1

Для иллюстрации работоспособности алгоритма реконфигурации для сети с несколькими источниками взята приведенная на рис. 1 сеть среднего напряжения 11.4 кВ Тайваньской электрической компании с двумя источниками питания [13, 14], содержащая 11 фидеров, из которых в первую подсистему входят фидеры 1–6, а во вторую 7–11. Сеть содержит 83 нормально замкнутых секционных выключателей и 13 нормально разомкнутых линейных выключателей, 5 из которых, 1–5, позволяют объединить источники питания двух подсистем в один, как это показано на рис. 1. Линейный выключатель 6 взаимно резервирует питание 2-го и 6-го фидеров, линейный выключатель 7 взаимно резервирует электроснабжение части нагрузок 5-го и 6-го фидеров, а выключатели 8–10 части нагрузок 4-го и 5-го фидеров, линейные выключатели 11, 12 и 13 резервируют питание части нагрузок 3–4, 2–3 и 7–8 фидеров.

При размыкании всех показанных на рис. 1 линейных выключателей фидеры 1–11 работают независимо, при этом потери активной мощности равны 532.002 кВт, а после замыкания всех линейных выключателей потери уменьшаются до 462.679 кВт. Уже

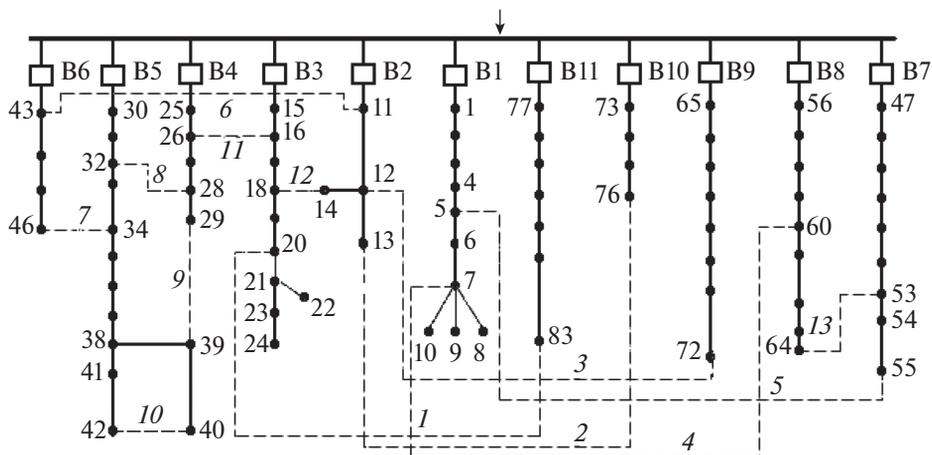


Рис. 1. Граф схемы 1, на которой узлы питания двух подсистем фидеров 1–6 и 7–11 объединены в один узел; пунктирными линиями показаны связи с линейными выключателями.

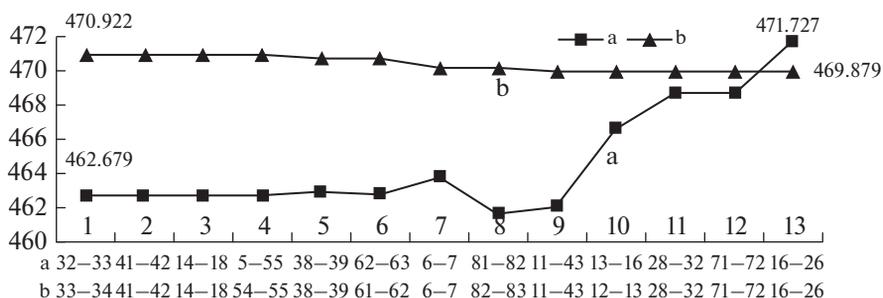


Рис. 2. Изменение потерь мощности и состава ветвей с линейными выключателями на первом – а и втором – б шагах реконфигурации в сети схемы 1 без источников возобновляемой генерации.

на первом шаге реконфигурации были определены основные оптимальные переключения, и пять переключений было скорректировано на втором шаге, рис. 2, при этом состав линейных выключателей, обеспечивающий минимальные потери, 469.879 кВт, полностью совпадает с составом линейных выключателей, полученных другими алгоритмами реконфигурации [15].

Для доказательства работоспособности используемого алгоритма реконфигурации при наличии в сети источников распределенной генерации такие источники были добавлены в узлах 7, 12, 19, 28, 34, 71, 75 и 79 в соответствии с информацией о предлагаемых в [15] размещениях и генерируемых мощностях источников для схемы 1.

После добавления источников потери мощности в исходной разомкнутой сети уменьшились до 427.980 кВт, а в сети с замкнутыми линейными выключателями до 377.285 кВт. На первом шаге реконфигурации, уже на первом шаге были определены основные оптимальные переключения, и только одно переключение было скорректировано на втором шаге, рис. 3.

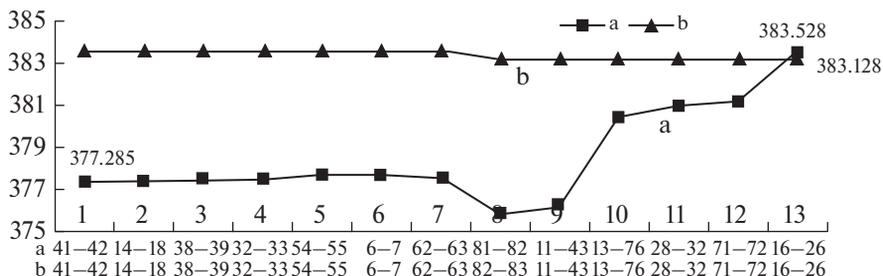


Рис. 3. Изменение потерь мощности и состава ветвей с линейными выключателями на первом – а и втором – б шагах реконфигурации в сети схемы 1 с источниками возобновляемой генерации.

Полученный оптимальный состав линейных выключателей отличается от оптимального состава, полученного в [15], который включает хорду 12–13, вместо хорды 13–76 в нашем решении. В то же время, замена в нашем решении хорды 13–76 на 12–13 привела к увеличению потерь с 383.128 кВт до 383.17 кВт.

Анализ результатов реконфигурации Тайваньской распределительной сети позволил установить, что кроме снижения суммарных потерь мощности произошло изменение числа узлов в фидерах, выравнивание нагрузок фидеров и потерь мощности в них.

2. ИЛЛЮСТРАЦИЯ РАБОТЫ АЛГОРИТМА РЕКОНФИГУРАЦИИ НА ПРИМЕРЕ СХЕМЫ 2

Исследования, аналогичные исследованиям, проведенным для схемы 1, выполнены для реальной городской распределительной сети напряжением 6 кВ, включавшей 282 узлов, 326 связей с секционными выключателями и 50 связей с линейными выключателями. Важным отличием расчетной схемы 2 от схемы 1 является включение в 189 узлах сети трансформаторных пунктов с нагрузками, что приводит к необходимости при оценке потерь в процессе реконфигурации включать в них и потери в трансформаторах.

Всего в сети 15 фидеров, схематически показанных на рис. 4, которые получают питание от 6 источников. От первого источника получают питание 1, 7, 8, 9 и 11 фидеры, от второго источника – 3, 4, 5, 6, 10, 12 фидеры, а от 3–6 источников питание получают 2, 13, 14 и 15 фидеры.

Из 50 связей с линейными выключателями на рис. 4 показаны только 42 связи, поскольку из 8 остальных линейных выключателей по одному выключателю принадлежат 2, 8, 9 и 10 фидерам и по два выключателя – 4 и 14 фидерам. Два линейных выключателя объединяют фидеры 8–11 и 9–11, и шесть линейных выключателей объединяют фидеры 5–6, 6–12, 3–6 (две связи) и 3–10 (две связи), получающие питание, соответственно от первого и второго источников. Остальные 35 линейных выключателей объединяют фидеры, получающие питание от разных источников.

В исходной сети с разомкнутыми линейными выключателями, в которой каждый фидер работает независимо и получает питание от связанного с ним источника, при суммарной мощности нагрузки 47074 кВт, соответствующей режиму максимальной нагрузки, потери мощности составляют 2133.294 кВт, при напряжениях источников питания, задаваемых равными 6.2 кВ.

Объединение 6 источников питания в один привело к уменьшению числа узлов в схеме сети до 277 узлов, а замыкание всех линейных выключателей привело к уменьшению потерь с 2133.294 кВт при разомкнутых выключателях до 1657.901 кВт.

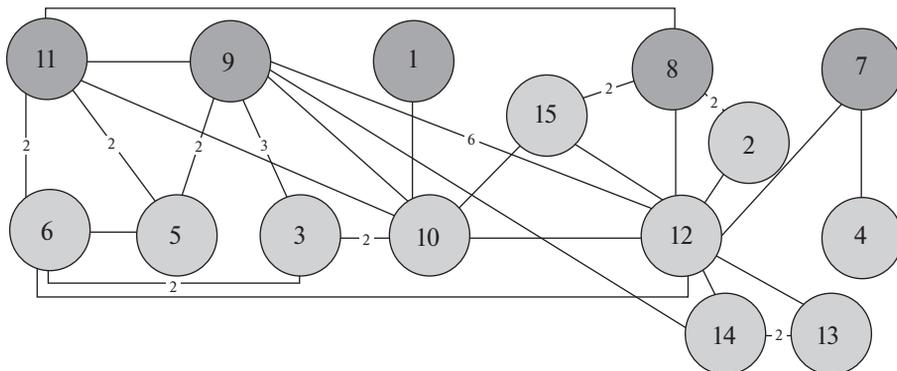


Рис. 4. Исходная структурная схема схемы 2, включающая фидеры и связи между ними с линейными выключателями; цифрами на связях указано их число.

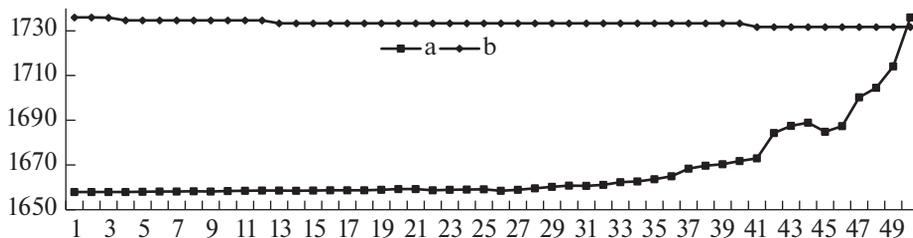


Рис. 5. Изменение потерь мощности на первом – а и втором – б шагах реконфигурации схемы 2.

На графиках рис. 5 проиллюстрирован процесс изменения потерь на первом и втором шагах реконфигурации, связанных с определением и коррекцией хорд для 50 контуров. На первом шаге, связанном с выбором исходного состава линейных выключателей и их размыканием, потери увеличились с 1657.901 кВт до 1736.02 кВт, а на втором корректирующем шаге реконфигурации уменьшились до 1731.739 кВт.

На рисунке 6 показана структура схемы 2 после реконфигурации, в процессе которой только 19 линейных выключателей поменяли свой статус с нормально разомкнутых выключателей на нормально замкнутые, из них 2 выключателя принадлежат 4 и 9 фидерам, а остальные 17 новых секционных выключателей выделены на схеме пунктирными линиями.

В результате реконфигурации произошло изменение числа узлов в отдельных фидерах, рис. 7, перераспределение нагрузок между фидерами и изменение потерь в них. До реконфигурации в 6 фидере было 13, а после реконфигурации стало 14 узлов, а число узлов 10 фидера до и после реконфигурации изменилось с 28 до 14. Появление двух новых параллельных ветвей 6–10 с линейными выключателями между 6 и 10 фидерами, рис. 6, может быть прокомментировано следующим образом. Пусть до реконфигурации 10 фидеру принадлежат три узла 1, 2, 3, объединенные ветвями 1–2 и 2–3 с секционными выключателями. После реконфигурации узел 2 переходит в фидер 6, а 1 и 3 узлы остаются в 10 фидере. Число узлов в 6 фидере увеличивается, а между 6 и 10 фидерами появляется две параллельные ветви 6–10 с линейными выключателями.

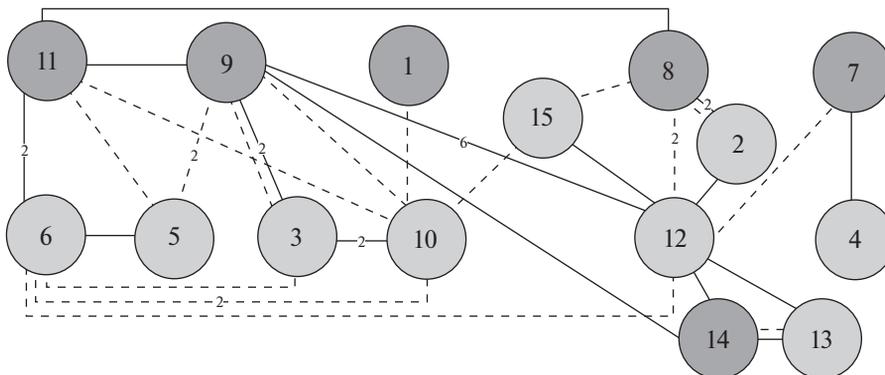


Рис. 6. Структурная схема распределительной сети после реконфигурации; сплошные линии между фидерами соответствуют линейным выключателям исходной схемы, а пунктирные – новым линейным выключателям, найденным при реконфигурации.

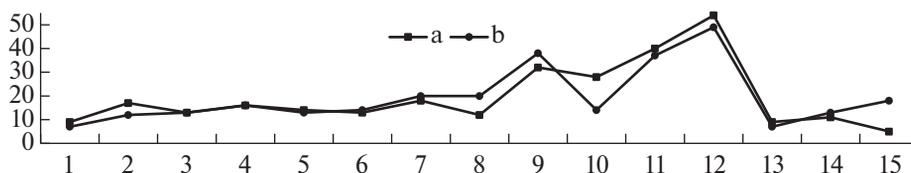


Рис. 7. Число узлов в фидерах до – а и после – б реконфигурации.

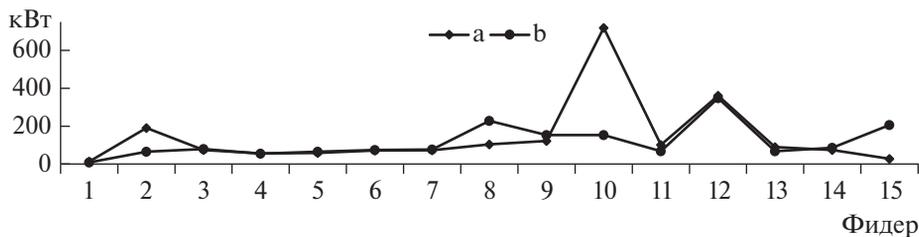


Рис. 8. Изменение суммарных потерь в фидерах до – а и после – б реконфигурации.

Перераспределение нагрузок между фидерами в результате реконфигурации привело к существенному снижению потерь 2-го и 10-го фидеров, рис. 8, и снижению суммарных потерь в сети.

3. ИЛЛЮСТРАЦИЯ РАБОТЫ АЛГОРИТМА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ СХЕМЫ 1

Рассматривается схема 1, для которой на рис. 9 показано состояние линейных выключателей, полученных после реконфигурации.

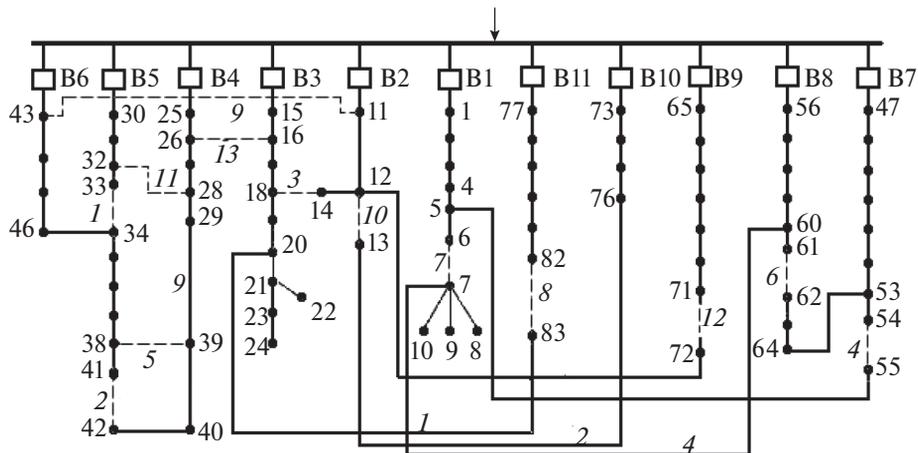


Рис. 9. Схема распределительной сети, рис. 1, полученная после реконфигурации, пунктирными линиями показаны связи с линейными выключателями, пронумерованными в соответствии с рис. 3.

В таблице 1 для схемы 1 приведены варианты линейных выключателей, которые могут использоваться для восстановления режима после отключения одного из 11 фидерных выключателей. В последнем столбце табл. 1 записаны минимальные потери, которые будут в сети после отключения фидерного выключателя и включения линейного выключателя, обозначение которого в табл. 1 выделено жирным шрифтом.

Так, при аварийном отключении фидерного выключателя B1 или B8, входящих в один и тот же независимый контур: B1, 1-...-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-60, 60-...-56, B8, электроснабжение может быть восстановлено замыканием линейного выключателя, соответствующего хорде 6-7 этого контура.

Анализ покрывающего дерева и его хорд позволяет также выделить подсистемы деревьев, нагрузки которых могут получать питание только от одного источника. В рас-

Таблица 1. Варианты линейных выключателей, которые могут использоваться для восстановления режима при аварийном отключении фидерного выключателя

Фидерные выключатели	Варианты линейных выключателей				Потери мощности, кВт
	1	2	3	4	
1-100	6-7	54-55			603.37
11-100	11-43	12-13	24-18	71-72	481.44
15-100	14-18	16-26	82-83		528.43
25-100	16-26	28-32	28-39	41-42	518.82
30-100	28-32	33-34	24-28		553.24
43-100	11-43	33-34	24-28		490.62
47-100	54-55	61-62	38-39	41-42	802.93
56-100	6-7	61-62			593.48
65-100	71-72				544.54
73-100	12-13				536.72
77-100	82-83				767.03

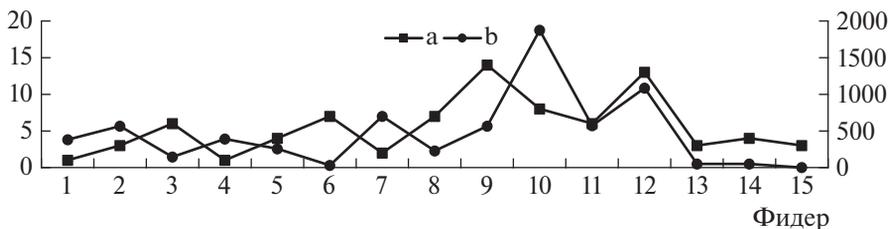


Рис. 10. Число вариантов линейных выключателей, которые могут обеспечить питание фидеров при отключении фидерного выключателя, — а, максимальные суммарные мощности нагрузок подсистем, не имеющих резервного питания, — б.

смагриваемом примере выпадение одной из ветвей 7–8, 7–9 или 7–10 приведет к нарушению электроснабжения нагрузок 8, 9 или 10 узлов, по 300 кВт каждая, а выпадение ветви 20–21 в дереве 20–21–23–24 к нарушению электроснабжения четырех нагрузок 21, 22, 23 и 24 узлов суммарной мощностью $550.9 + 50 + 100 + 50 = 650.9$ кВт.

Оценка надежности электроснабжения фидеров городской распределительной сети, проведенная после замыкания всех линейных выключателей и объединения всех источников питания в один, показала, что восстановление электроснабжения при аварийном отключении фидерного выключателя число вариантов линейных выключателей для различных фидеров составляет от 1 до 14, как это показано на рис. 10а.

Оценка надежности электроснабжения нагрузок позволила установить, что из 189 нагрузочных узлов, питание 88 нагрузок суммарной мощностью 33253.42 кВт зарезервировано, по крайней мере, одним линейным выключателем, а питание 101 нагрузочных узлов суммарной мощностью 13521.08 кВт не имеет резервного питания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена модификация алгоритма реконфигурации распределительной сети, основанного на методах построения максимального покрывающего дерева и определения по хордам дерева состава ветвей независимых контуров в первичной распределительной сети, фидеры которой получают питание от нескольких источников.

Эффективность алгоритма подтверждена расчетами, проведенными для сети, рассматриваемой как тестовая, и реальной городской распределительной сети.

Проиллюстрирована ранее не анализируемая возможность реконфигурации, позволяющая не только уменьшить потери в целом по сети, но и изменением числа узлов в фидерах выровнять нагрузки и потери мощности в фидерах.

Показана возможность использования алгоритма реконфигурации для восстановления электроснабжения нагрузок, при аварийном отключении не только любого из секционных выключателей, но и любого из фидерных выключателей.

Показана возможность выделения на схеме сети подсистем деревьев, нагрузки которых не имеют резервного источника питания.

Программа реконфигурации и восстановления может быть включена с небольшой трудоемкостью в любой программный комплекс расчета потокораспределения в электрической сети, что позволит проводить как плановую, так и оперативную реконфигурацию и анализа восстановления распределительной сети, в том числе и при наличии в ней источников распределенной генерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kavousi-Fard A., Niknam T., Khooban M.H.* Intelligent stochastic framework to solve the reconfiguration problem from the reliability view // *IET Science, Measurement & Technology*. 2014. V. 8(5). P. 245–259.
2. *Bernardon D., Carboni de Mello A.P., Pfitscher L.* Real-time reconfiguration of distribution network with distributed generation // *Electric Power Systems Research*. 2014. V. 107. P. 59–67.
3. *Guimarães M.A.N., Castro C.A., Romero R.* Distribution systems operation optimisation through reconfiguration and capacitor allocation by a dedicated genetic algorithm // *IET Generation, Transmission & Distribution*. 2010. V. 4(11). P. 1213–1222.
4. *Pereira Junior B.R., Cossi A. M., Contreras J., Sanches Mantovani J.R.* Multiobjective multistage distribution system planning using tabu search // *IET Generation, Transmission & Distribution*. 2014. V. 8(1). P. 35–45.
5. *Abdelaziz A.Y., Osama R.A., El-Khodary S.M.* Reconfiguration of distribution systems for loss reduction using the hyper-cube ant colony optimization algorithm // *IET Generation, Transmission & Distribution*. 2012. V. 6(2). P. 176–187.
6. *Kavousi-Fard A., Niknam T., Khosravi A.* Multi-objective probabilistic distribution feeder reconfiguration considering wind power plants. // *International J. Electrical Power & Energy Systems*. 2014. V. 55. P. 680–691.
7. *Wu W.C., Tsai M.S.* Application of enhanced integer coded particle swarm optimization for distribution system feeder reconfiguration // *IEEE Transactions on Power Systems*. 2011. V. 26(3). P. 1591–1599.
8. *Голуб И.И., Болоев Е.В., Войтов О.Н., Семенова Л.В.* Учет неопределенности информации о значениях нагрузок и генераций при суточной реконфигурации первичной распределительной сети // *Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 68. Исследование и обеспечение надежности систем энергетики. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2017. С. 95–106.*
9. *Голуб И.И., Болоев Е.В., Войтов О.Н., Семенова Л.В.* Алгоритм оптимизации реконфигурации и суточных графиков нагрузки распределительной электрической сети // *Известия РАН. Энергетика*. 2018. № 1. С. 25–34.
10. *Майника Э.* Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. М.: Энергия, 1972. 231 с.
11. *Гурский С.К.* Алгоритмизация задач управления режимами сложных систем в энергетике. Минск: Наука и техника, 1977. 367 с.
12. *Golub I.I., Boloev E.V., Voitov O.N., Semenova L.V.* Reconfiguration of Distribution Network with Renewable Generation // *Energy Systems Research*. 2018. V. 1(1). P. 74–83.
13. *Wang C., Cheng H.Z.* Optimization of network configuration in large distribution systems using plant growth simulation algorithm // *IEEE Transactions on Power Systems*. 2010. V. 23(1). P. 119–126.
14. *Wu Y., Lee C., Liu L., Tsai S.* Study of reconfiguration for the distribution system with distributed generators // *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2010. V. 25(3). P. 1678–1685.
15. *Ji X., Liu Q., Yu Y., Fan S., Wu N.* Distribution network reconfiguration based on vector shift operation // *IET Generation, Transmission & Distribution*. 2018. V. 12(13). P. 3339–3345.
16. *Голуб И.И., Войтов О.Н., Семенова Л.В., Болоев Е.В.* Выбор краткосрочной фиксированной конфигурации распределительной сети // *Известия высших учебных заведений. Проблемы Энергетики*. 2018. Т. 20. № 9–10. С. 39–51.

Urban Distribution Network Reconfiguration Algorithm

I. I. Golub^{a, *}, O. N. Voitov^a, E. V. Boloev^a, and L. V. Semenova^a^a*Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*^{*}*e-mail: golub@isem.irk.ru*

The task of reconfiguring the municipal distribution network by the active power loss minimization criterion using high-speed algorithms to construct a maximum spanning tree and to determine branches of the independent loops by their chords is solved. Information on the features of the distribution network topology enables us to determine the variants of tie switches that may be used to restore power supply at an emergency outage of any sectionalizing switch, as well as any circuit breaker, and to determine the subsystems of trees in the network scheme without reserve power supply. The efficiency of the reconfiguration and power supply restoration algorithm is illustrated by the example of a test and real distribution networks.

Keywords: urban distribution network, reconfiguration, maximal spanning tree, power supply reliability and restoration