

## **АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 10 КВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**А.А. ПАРФЁНОВ**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П.О. Сухого»,  
Республика Беларусь*

Надежность электроснабжения потребителей во многом определяется надежностью функционирования распределительных электрических сетей 6–10 кВ. Важным в обеспечении их надежности является оптимальное управление электрическими сетями в послеаварийных режимах с целью локализации и отключения поврежденного участка сети, максимально быстрого прекращения перегрузок отдельных элементов сети и быстрого восстановления питания всех потребителей в послеаварийном режиме.

Одним из средств восстановления электроснабжения потребителей является включение резервного питания от другой линии электропередачи, имеющей резервную переемычку с данной линией. Для этого необходимо провести ряд оперативных переключений (включение-отключение выключателей, разъединителей и т. д.). Характерной особенностью является многовариантность, когда поставленной цели можно достичь с помощью различного состава оперативных переключений, также их неочевидность, вследствие того, что достаточно трудно определить сразу всю необходимую совокупность оперативных переключений, ведущих к достижению поставленной цели. Так, например, у одной и той же линии электропередачи может быть несколько резервных переемычек с другими линиями, и, как показывают ранее проведенные исследования [1, 2], выбрать от какой из них получить резервное питание достаточно сложно, кроме того, возможны отключения каких-то потребителей данной линии. Это обстоятельство усугубляется очень жесткими временными ограничениями на процесс принятия решения во время аварийной ситуации и психологической нагрузкой, ложащейся на диспетчера, ответственного за принимаемое решение. Поэтому для повышения надежности, качества и экономичности электроснабжения потребителей необходимо внедрять в управление электрическими сетями автоматизированные системы.

Существующие различные методы и алгоритмы решения данной задачи для электроэнергетических систем 110 кВ и выше [3] непосредственно использовать для распределительных сетей невозможно вследствие существенных различий в принципах построения и функционирования распределительных сетей по сравнению с системообразующими сетями более высоких напряжений. В связи с этим возникает задача разработки специализированных алгоритмов, ориентированных на применение в распределительных сетях, которая формулируется следующим образом. В послеаварийном режиме, возникающем в результате повреждения элемента сети и последующего отключения автоматического коммутационного аппарата на головном участке фидера, ряд потребителей остается без питания. Требуется после локализации и отключения поврежденного элемента найти такое новое состояние сети, чтобы все потребители фидера получали питание и выполнялись все условия, обеспечивающие нормальную работу линии электропередачи. Для этих целей и служит предлагаемый алгоритм и программный комплекс резервирования воздушных линий 10 кВ сельскохозяйственного назначения.

Любую линию электропередачи можно представить как множество неупорядоченных узлов сети и упорядоченное множество пар узлов, называемых ветвями. Каждый узел характеризуется такими параметрами, как комплексные величины токов нагрузки (или мощности нагрузки), напряжения. Элементы из множества ветвей определяются своими сопротивлениями, значениями допустимых токов. Все эти величины необходимы для расчета установившегося режима электрической сети и токов короткого замыкания. Кроме того, для каждой линии известны следующие параметры: значение напряжения в начале линии, сопротивление системы, ток срабатывания максимальной токовой защиты, положение всех коммутационных аппаратов в начальный период, для расчета потерь и режима средних нагрузок – коэффициенты заполнения графика нагрузки.

При аварийном отключении фидера диспетчеру предлагается список фидеров, имеющих резервные переключатели с отключенным фидером. Диспетчер производит необходимые изменения в положениях коммутационных аппаратов выбранного для резервирования и поврежденного фидеров (включение резервной переключателя, отключение части поврежденного фидера и т. д.). Далее выполняется расчет установившегося режима для нормальной схемы поврежденного фидера и соседнего фидера, соединенного с поврежденным с помощью резервной переключателя. Для расчета установившегося режима используется метод узловых потенциалов [2], система полученных уравнений решается в матричном виде методом Гаусса. Результаты расчетов представляются в виде двух таблиц (по ветвям и узлам) и рекомендаций по возможности или невозможности резервирования фидеров. Если резервирование невозможно, то диспетчер может выбрать для расчета резервирования другой фидер из предложенного списка. Если в результате расчетов окажется, что резервирование возможно с любым из фидеров, имеющим резервную переключатель, то диспетчер может выбрать наиболее экономичный вариант с наименьшими потерями мощности в линиях.

Разработанный алгоритм реализован в программном комплексе резервирования воздушных линий 10 кВ сельскохозяйственного назначения «Помощник диспетчера». Программа написана на языке программирования «Delphi». Программный комплекс был использован при расчете действующих ВЛ 10 кВ РУП «Гомельэнерго» Гомельского, Добрушского РЭС.

**Исходные данные для расчета.** Для изменения и просмотра данных используются следующие таблицы. *Подстанции* – содержит информация о наименовании подстанции (секции подстанции) 10 кВ, о фактическом напряжении на шинах подстанции (секции подстанции), сопротивлении системы (для расчета токов короткого замыкания). *Фидеры* – информация о наименовании (диспетчерском коде) фидера и принадлежности его к подстанции (секции подстанции), о токе срабатывания максимальной токовой защиты. *Трансформаторные подстанции (ТП)* – в этой таблице хранится информация о трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ всех фидеров распределительной сети, активная и реактивная мощность нагрузки, получающей питание от данной ТП, диспетчерский код ТП, коэффициенты заполнения графика активной и реактивной нагрузок. *Коммутационные аппараты (КА)* – диспетчерский код КА, вид аппарата, положение (включен или отключен). *Ветви* – информация о длине участка, марке провода участка всех фидеров распределительной сети.

Таблицы «Трансформаторные подстанции», «Коммутационные аппараты», «Ветви» служат для быстрого просмотра и изменения данных всех фидеров. Для изменения данных по ветвям и узлам конкретного фидера или добавления данных нового фидера предназначены таблицы «Изменение данных по фидеру в ветвях» и «Изменение данных по фидеру в узлах». Для описания конфигурации фидера используется теория графов [4].

Кроме таблиц с исходной информацией, описывающих конфигурацию сети, нагрузки в узлах, состояние КА, имеется справочная таблица «Технические данные проводов и кабелей», где для различных марок проводов и кабелей содержится информация об

удельных активном и реактивном сопротивлениях, величина допустимого тока. Все данные в этой таблице также могут быть изменены и дополнены.

**Расчет фидера.** При выборе пункта меню «*Расчет*» диспетчеру предлагается выбрать из сохраненного в базе данных списка фидер для расчета. После этого автоматически будет сформирован список фидеров, имеющих резервную перемычку с данным фидером (рис. 1). При необходимости диспетчер может добавить любой фидер из базы данных. Одновременно с этим формируется список КА данного фидера, положения которых можно изменить (рис. 1). Далее при нажатии кнопки «*Расчет*» открывается окно (рис. 2) со списком доступных для расчета фидеров. Расчет осуществляется сразу же после выбора одного из фидеров.

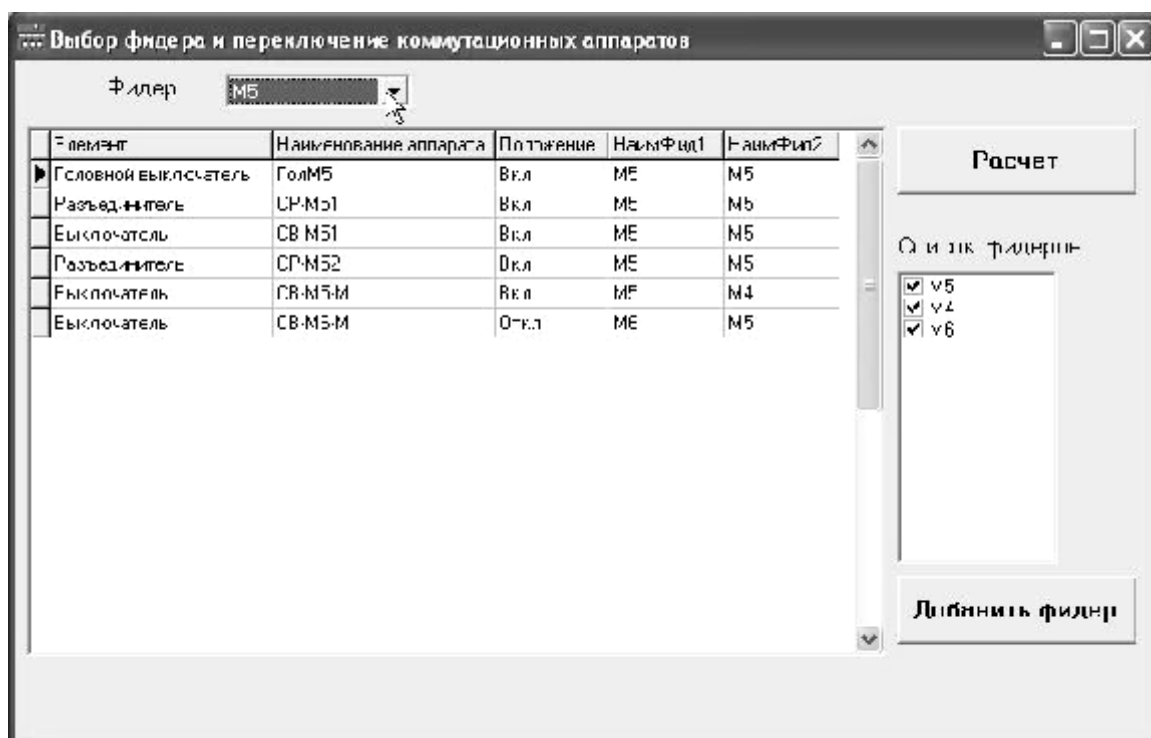


Рис. 1. Выбор резервируемого фидера

Представление результатов расчета рассмотрим на примере расчета возможности резервирования двух фидеров (рис. 3), которые представляют собой модели ВЛ 6–10 кВ, построенные по результатам исследования воздушных линий 6–10 кВ РУП «Гомельэнерго». Суммарная длина фидера М4 равна 7,11 км, фидера М5 – 18,98 км, суммарная мощность всех трансформаторных подстанций фидера М4 равна 1,31 МВА, фидера М5 – 1,87 МВА. Ток срабатывания максимальной токовой защиты фидера М4 равен 171 А, фидера М5 – 191 А. В результате аварийного отключения фидера М4, потребители фидера остаются без питания. Для восстановления их питания и сокращения ущерба от недоотпуска электроэнергии выбираем фидер М5 для осуществления резервного питания. После расчета фидеров во вспомогательном окне 1 (рис. 2) появляются записи о выполнении или невыполнении условий возможности резервирования фидеров:

- проверка по допустимому длительному току при совместном питании фидеров М4 и М5: условие не выполняется (например, в начале фидера М5 протекает ток 256 А при допустимом 210 А);
- проверка по допустимому отклонению напряжения: условие также не выполняется – отклонение напряжения в наиболее удаленной точке составляет 28,4 % в максимальном режиме и 23,5 % в режиме средних нагрузок, в то время как ГОСТ 13109-97 регламентирует нормально допустимые отклонения напряжения  $\pm 5\%$  и предельно допустимые отклонения напряжения  $\pm 10\%$ ;



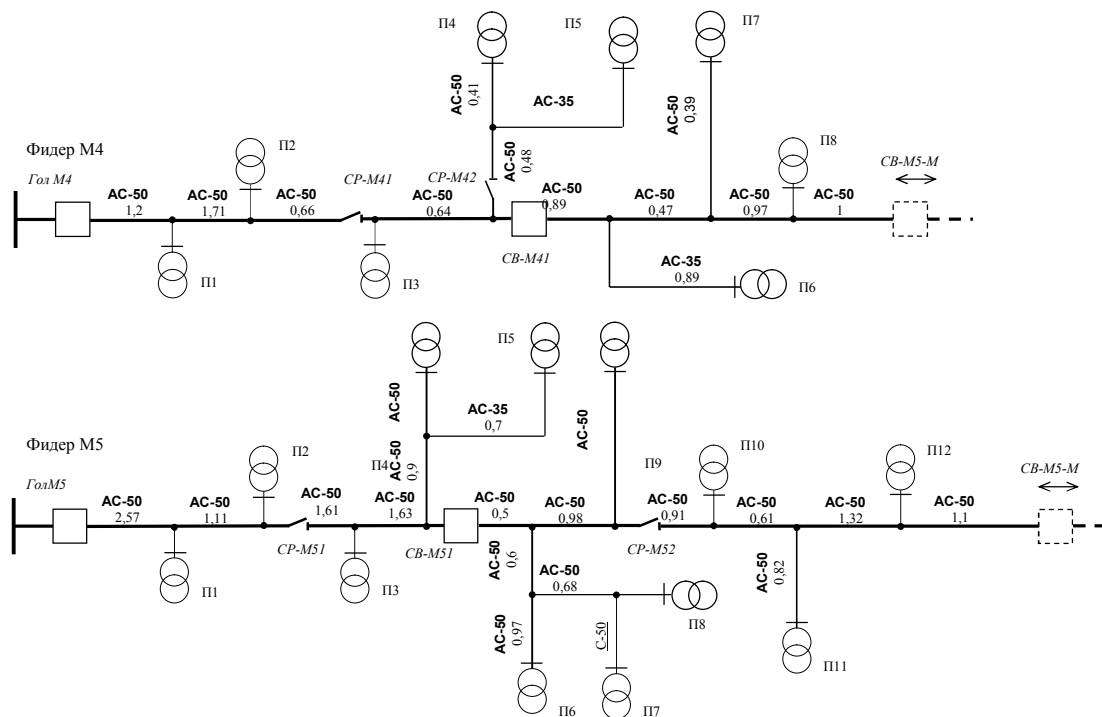


Рис. 3. Пример резервирования фидеров М4 и М5

Таким образом, предложенные алгоритм и программный комплекс позволяет автоматизировать и ускорить процессы расчетов диспетчерской службы распределительных сетей, связанные с установившимся нормальным и послеаварийным режимами, позволяет диспетчеру оценить возможность резервирования воздушных линий электропередачи и выбрать наиболее экономичный вариант. Применение программы позволяет сократить ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителям, сократить ущерб от отклонения напряжения, который может составлять несколько миллионов рублей в год [5], сократить потери электроэнергии в линиях. Например, при резервировании фидеров Гомельского РЭС 923 и 928 потери мощности составляют 317,6 кВт, а при резервировании фидеров 923 и 1803 – 138,4 кВт. Следовательно, при соблюдении прочих равных условий экономия составит 179,2 кВт.

## Литература

1. Куценко, Г.Ф. Исследование возможности резервирования ВЛ 6–10 кВ с учетом отклонения напряжения /Г.Ф.Куценко, А.А.Парфенов //Вестник ГГТУ им. П.О.Сухого, 2003. – № 1. – С. 83-90.
2. Куценко, Г.Ф. Анализ срабатывания токовых защит при резервировании линий 6-10 кВ /Г.Ф. Куценко, А.А. Парфенов //Вестник ГГТУ им. П.О.Сухого, 2003. – № 3 – С. 39-43.
3. Glavitch H., Bacher R. Network topology optimization with security constraints. – IEEE Trans. on Power System. 1987. vol.1. No 4.
4. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики: Учебник для студентов вузов /Под ред. В.А. Веникова. – М.: Высш. шк., 1981. – 288 с.
5. Янукович, Г.И. Экономическая оценка ущерба от отклонений напряжения в сельскохозяйственном предприятии республики Беларусь /Г.И. Янукович, Н.Г. Королевич, В.М. Збродыго //Энергосбережение. Электроснабжение. Автоматизация: материалы междунар. науч.-техн. конф., 22–23 ноября 2001 г. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2001. – С. 87-88.

Получено 30.07.2004 г.