

5. Выводы. 1) Характер изменения капиталовложений при возрастании передаваемой мощности не меняется при изменении длины сверхпроводящей линии в пределах (1...15) км. Разброс численных значений капитальных затрат в исследуемые модели для различных длин сверхпроводящего кабеля при одном и том же напряжении лежит в пределах (1...3)%. Большее значение относится к меньшим величинам напряжений переменного тока. Для постоянного напряжения при увеличении $P_{расч.}$ разброс численных значений капиталовложений колеблется вблизи 1%... 2) Закономерность изменения удельных приведенных затрат при различных напряжениях и стоимость 1 кВт·ч переданной потребителю электроэнергии для схем электроснабжения переменного и постоянного тока примерно одинакова и минимум лежит в широком диапазоне изменения мощностей 100...500МВт.

Л и т е р а т у р а

1. Сборник типовых программ для ЭВМ "Минск-22". - Минск: НИИЭМП, 1974, вып. 4. - 154 с. 2. Поспелов Г.Е., Федин В.Т. Проектирование электрических сетей и систем. - Минск: Высшая школа, 1978. - 304 с.

УДК 621.316.1

Я.Сервотка, инженер, М.П.Клюйко, инженер,
В.Н.Юрасюк, инженер (БПИ)

МИНИМИЗАЦИЯ РАСХОДА ГОРЮЧЕГО ЗА ПРОЦЕСС ПОИСКА ПОВРЕЖДЕННОГО УЧАСТКА В ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 6 - 20 кВ

В настоящее время в сетях 6 - 20 кВ для поиска поврежденного участка наибольшее распространение получили следующие методы: проверка мегомметром, пробные включения и проверка сети указателем повреждения. Применяется ряд мер к возможно более быстрому отысканию поврежденных участков сети, устранению повреждения и восстановлению электроснабжения потребителей. Хорошие результаты дает применение оптимальных стратегий в работе диспетчерских служб, позволяющих вести поиск повреждения и восстановление электроснабжения на основе конкретных расчетов, а не интуитивно [1].

Применение оптимальных стратегий минимизирует основные количественные показатели (недоотпуск электроэнергии, время поиска или длину пути проезда), характеризующие эффективность управления. С целью выбора оптимального управления разработаны математические модели и программы оптимизации процесса поиска поврежденного участка в городских сетях 6 - 20 кВ с помощью ЭВМ.

Рассмотрим основные положения построения математической модели поиска поврежденного участка методом пробных включений. Отключившаяся распределительная линия делится оперативно-выездной бригадой (ОВБ) в одной из трансформаторных подстанций (ТП) на две части. После этого из источника питания (ИП) производится пробное включение. Если включение было успешным и прилежащая к ИП часть линии включалась в работу, то поиск неработоспособного участка во второй части обычно ведется с помощью проверок изоляции кабелей мегомметром. При включении на короткое замыкание неповрежденные участки вводятся в работу со стороны точки нормального деления, а оставшаяся часть линии вновь разделяется надвое и с ИП выполняется новое пробное включение. Указанные действия продолжаются до нахождения и локализации поврежденного элемента. Число включений на короткое замыкание (неуспешных включений) ограничивается местными инструкциями предприятия электрических сетей. Формализуем описанный процесс.

В начале поиска ОВБ должна посетить ИП и осмотреть отключившийся выключатель. Затраты времени на осмотр оборудования ИП определяются как

$$T_{\text{ИП}} = t_{\text{вх}}^{\text{ИП}} + t_{\text{осм}}^{\text{ИП}} + t_{\text{вых}}^{\text{ИП}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{вх}}^{\text{ИП}}$ и $t_{\text{вых}}^{\text{ИП}}$ - время, необходимое на вход в ИП и выход из него; $t_{\text{осм}}^{\text{ИП}}$ - время осмотра силового выключателя.

Обозначим местонахождение ОВБ к началу шага через r (для первого шага $r = \text{ИП}$), ТП, в которой производится включение работоспособной части схемы b , а ТП деления через g . Тогда время, требуемое на проезд от r и g , может быть найдено как

$$t_{r-g} = \frac{K_n l}{U} r - g, \quad (2)$$

где l_{r-g} - суммарная длина линий электропередачи на пути от r к g ; K_n - коэффициент, учитывающий несоответствие пути проезда и длины линий электропередачи ($K_n = 1,20 - 1,25$); U - скорость движения оперативной машины ($U^n = 30$ км/ч).

Затраты времени в ТП- g находятся по выражению

$$T_g = t_{вх} + t_{оп} + t_{вых}, \quad (3)$$

где $t_{вх}$ и $t_{вых}$ - время, необходимое на вход в сетевой объект и выход из него; $t_{оп}$ - время, требуемое на включение и отключение коммутационного аппарата.

Выполнив деление линии на 2 части. ОВБ возвращается на ИП и проводит пробное включение. Для этой операции необходимо время

$$T_{пв} = t_{вх}^{ИП} + t_{оп}. \quad (4)$$

Если пробное включение оказалось неуспешным, то восстановление электроснабжения потребителей неповрежденной части распределительной линии производится из точки b , удаленной от ИП на расстояние $l_{ИП-b}$. Время $t_{ИП-b}$, необходимое на проезд ОВБ в эту точку, может быть найдено по выражению, аналогичному (2). В этом случае также следует учесть затраты времени на операцию по включению

$$T_b = t_{вх}^b + t_{оп}, \quad (5)$$

где $t_{вх}^b$ - время, необходимое на вход в ТП- b .

Будем считать, что каждый шаг поиска завершается включением нагрузки потребителей неповрежденной части схемы. Тогда суммарные затраты времени на первом шаге могут быть определены по выражению

$$T_1 = T_{ИП} + 2 t_{r-g} T_g + T_{пв} + f_1 (t_{вых}^{ИП} + t_{ИП-b} + T_b), \quad (6)$$

где f_1 - единичная ступенчатая функция;

$$f_1 = \begin{cases} 0 & \text{если включение успешное;} \\ 1 & \text{если включение на короткое замыкание.} \end{cases}$$

В начале каждого последующего шага $j > 1$ ОВБ должна выйти из сетевого объекта, являющегося местом включения на

шаге $(j - 1)$, и получить по радиосвязи указания о порядке дальнейших действий, что требует затрат времени

$$T_{\text{вс}} = t_{\text{вых}} + t_{\text{р}}, \quad (7)$$

где $t_{\text{р}}$ - время радиосвязи ОВБ с диспетчером.

Суммарные затраты времени на шаге j при неуспешном пробном включении на предыдущем этапе поиска подсчитываются по такой формуле:

$$T_j = T_{\text{вс}} + t_{\text{р-г}} + T_{\text{г}} + t_{\text{г-ИП}} + T_{\text{пв}} + f_1 (t_{\text{ИП-вых}} + t_{\text{ИП-б}} + T_{\text{б}}), \quad (8)$$

где $t_{\text{г-ИП}}$ - затраты времени на проезд от места деления до ИП.

При успешном включении поиск продолжается методом проверок мегомметром.

Недоотпуск электроэнергии потребителям за j -й шаг поиска поврежденного участка и восстановления электроснабжения будет равен

$$\Delta W_j = P_j T_j, \quad (9)$$

где P_j - суммарная нагрузка ТП, невключенная к началу шага j .

Математическое ожидание недоотпуска электроэнергии за процесс поиска определяется как

$$M(\Delta W_{\text{П}}) = \sum_{i=1}^n q_i \Delta W_{\text{П}i}, \quad (10)$$

где $\Delta W_{\text{П}i}$ - недоотпуск электроэнергии потребителям за время поиска при отказе i -го элемента; q_i - вероятность повреждения i -го элемента.

Большое значение для величины $M(\Delta W)$ при пробном включении имеет выбор разъединителя деления в ТП-г.

Для ТП-г с одной входящей и одной выходящей линией отключаем разъединитель таким образом, чтобы ТП-г оказалось в подмножестве с меньшей суммарной длиной участков. Это обеспечит минимум недоотпуска электроэнергии и времени поиска, так как для такого подмножества вероятность повреждения участка линий будет меньшей.

В случае ТП- g с одной входящей и несколькими выходящими линиями руководствуемся тем же принципом. Разделяем сеть на два подмножества таким образом, чтобы разница между суммарными длинами участков подмножеств была минимальной, а ТП- g оказалось в подмножестве с меньшей их суммой.

В случае отключения другого разъединителя или всех разъединителей математическое ожидание недоотпуска электроэнергии возрастает.

Одним из важных критериев оптимизации поиска поврежденного участка является минимум расхода горючего за время проездов ОВБ. Экономия горючего пропорциональна сокращению длины проезда во время локализации повреждения.

Для минимизации длины пути проезда выбор оптимальной стратегии необходимо проводить по максимальной эффективности длины пути проездов на каждом шаге. В этом случае критерий оптимальности представляет собой математическое ожидание включаемой на единицу длины пути проезда нагрузки и определяется по выражению

$$e_{kj} = \sum_{\nu=1}^M \frac{q_{\nu}}{L_{\nu}} \frac{m-m_{\nu}}{\sum_{s=1}^{m-m_{\nu}}} K_{ps} P_s, \quad (11)$$

где M - число подмножеств, образуемых в ТП- g и проверки; q_{ν} - априорная вероятность повреждения одного из элементов ν -го подмножества; T_{ν} - суммарные затраты времени на оптимизируемом шаге при повреждении элемента ν -го подмножества; m - количество ТП в рассматриваемой (невыключенной) части сети; m_{ν} - количество ТП в подмножестве ν ; P_s - активная мощность нагрузки ТП в пункте s ; K_{ps} - коэффициент полезности электроснабжения, учитывающий ответственность потребителей в пункте s .

Применение этого критерия в отдельных случаях приводит к выбору стратегии, которая не минимизирует длины пути проездов.

Более точное решение дает метод локальной оптимизации с приближенной оценкой на каждом шаге глобального критерия, в качестве которого применяется математическое ожидание длины пути проезда. Оптимизация по данному методу заключается в следующем.

На первом шаге в качестве ТП- g поочередно рассматриваются все ТП- g распределительной линии (за исключением тупиковых). Выбор ТП- g на последующих шагах осуществ-

вляется по условию $e_{kj} = \max$. Из полученных стратегий выбирается та, для которой математическое ожидание длины пути проездов за процесс поиска будет минимальным ($M(\Sigma l) = \min$). ТП- g на первом шаге в этой стратегии будет оптимальной. Выбор ТП- g на втором шаге осуществляется прямым перебором ТП, а на последующих шагах по условию $e_{kj} = \max$. Сравнение полученных стратегий по $M(\Sigma l) = \min$ позволяет выбрать оптимальную ТП- g на втором шаге. Дальнейший расчет ведется аналогично. При контрольных расчетах по данному методу во всех случаях была выбрана стратегия, которая заключается в поочередном посещении всех ТП в направлении повреждения. Это относится как к схемам с ТП с одной входящей и одной выходящей линией, так и к схемам с отпайками. Применение такой стратегии приводит к большому увеличению математического ожидания недоотпуска электроэнергии. Поэтому такая стратегия применяется очень редко, чаще всего для поиска повреждения многолучевых схем. Поэтому выбор оптимальной стратегии необходимо вести с помощью критерия, который даст гарантию уменьшения длины пути проезда при небольшом увеличении $M(\Delta W)$. Для удовлетворения этих требований поиск поврежденного участка необходимо вести по максимальной скорости включения нагрузки на единицу длины пути проезда. Математическое ожидание этой величины определяется по выражению

$$e_{kj} = \sum_{\nu=1}^M \frac{q_{\nu} m - m_{\nu}}{T_{\nu} L_{\nu}} \sum_{s=1} K_{ps} P_s, \quad (12)$$

где L_{ν} - суммарная длина пути проезда на оптимизируемом шаге при повреждении элемента ν -го подмножества. Как и в предыдущем случае, более точные результаты дает метод локальной оптимизации с приближенной оценкой на каждом шаге глобального критерия. В качестве глобального критерия применяется

$$\Gamma_k = M(\Delta W) \cdot M(\Sigma L). \quad (13)$$

Расчеты ведутся аналогично предыдущему случаю. Расчеты показывают, что применение этого метода приводит к уменьшению математического ожидания длины пути проездов во время поиска повреждения и восстановления электроснабжения потре-

бителей при относительно небольшом увеличении математического ожидания недоотпуска электроэнергии.

Л и т е р а т у р а

1. Ничипорович Л.В., Радкевич В.Н. Повышение надежности электроснабжения путем оптимизации процесса поиска повреждения в распределительных сетях. – В кн.: Материалы международной научно-технической конференции. Гливице, 1977, с. 161 – 168.

УДК 537.523.4.621.315.6

К.Ф.Степанчук, канд.техн.наук (БПИ)

КУМУЛЯТИВНАЯ МОДЕЛЬ РАЗРУШЕНИЯ И УСЛОВИЯ УСКОРЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ ИЗОЛЯЦИИ

Модель и основные соотношения. Линейная кумулятивная модель разрушения образцов и материалов предполагает, что скорость разрушения зависит только от воздействия, и дефекты в образце при последовательных воздействиях накапливаются простым суммированием [1]. Предлагаемая модель является следующим приближением к реальности и учитывает ослабление образца при накоплении разрушения. Допустим, в образце изоляции (рис. 1) развивается разрушение $y(U, t)$ в виде, напри-

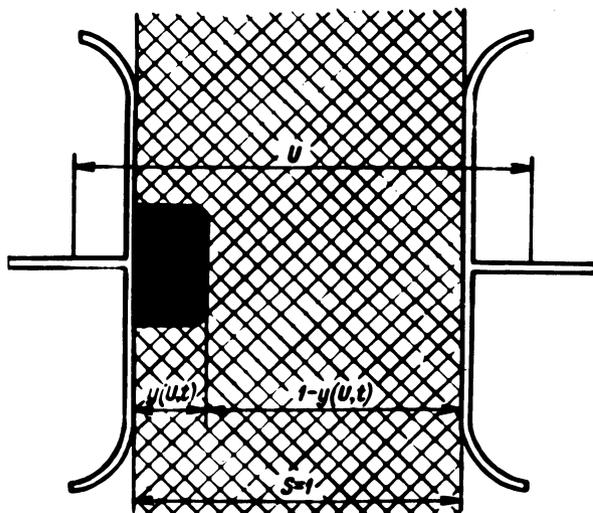


Рис. 1. Развитие разрушения в образце изоляции.