



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

3829/2-80

11/8-80

10-80-338

А.П.Сапожников

КОМПЛЕКС
ПРОГРАММ РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ
ГОРОДСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПРОГРЭС

Принципы построения и структурная организация

Направлено на конференцию по применению
вычислительной техники на выставке "Математика
и механика - народному хозяйству".
Москва, ВДНХ СССР.

1980

Введение

Снижение потерь электрической энергии при передаче от производителя к потребителям является актуальной народнохозяйственной задачей. Эта задача может быть решена путем комплексного проведения следующих мероприятий:

- а) учета потерь энергии в распределительной сети, выявления слабых мест сети,
- б) оптимальной загрузки оборудования,
- в) оптимизации структуры распределительной сети.

Возникающая при этом проблема обработки большого количества информации может быть решена с помощью ЭВМ.

В 1975 г. по заказу Мособлэлектро в ДВТА ОИЯИ была начата разработка программного комплекса, получившего впоследствии название ПРОГРЭС (Программа Расчета и Оптимизации Городских Распределительных Электрических Сетей). ПРОГРЭС реализован на ЭВМ БЭСМ-6 и эксплуатируется большинством предприятий Мособлэлектро примерно с 1976 года. Эксплуатационно-технические мероприятия, проводимые персоналом электросетей на основе рекомендаций ПРОГРЭС, позволили снизить потери при распределении на 10-20%.

I. Модель распределительной электросети напряжением 6-10 киловольт. Электрическая сеть, с которой работает ПРОГРЭС, состоит из следующих компонент:

- I.1. Источник питания. Характеризуется величиной напряжения в киловольтах, тока короткого замыкания в амперах, реактивного сопротивления схемы в омах, величиной годовой покупки энергии в кВт/ч. Существенно наличие единственного источника питания.

1.2. Точки разветвления сети, или пункты трансформации напряжения (ТП, РП, отпайки, опоры). Характеризуются наличием или отсутствием понижающих трансформаторов с заданными параметрами мощности, а также величиной токовой нагрузки каждого трансформатора, измеренной со стороны высокого или низкого напряжения.

1.3. Линии, соединяющие пары соседних точек сети. Характеризуются величинами допустимого и емкостного токов в амперах, активного и реактивного сопротивлений в омах, а также наличием коммутирующей аппаратуры (выключатели, разъединители).

Существенным эксплуатационным требованием к сети является требование отсутствия электрически замкнутых колец, поэтому некоторые линии должны быть разъединены. Наличие токораздела также является характеристикой линии в модели сети.

Таким образом, внутренним представлением электрической сети в модели является неориентированный граф $G = (V, R)$, где V - множество точек сети, включая источник, R - множество линий.

2. Основные функции комплекса ПРОГРЭС

- 2.1. Формирование модели сети. Пополнение базы данных.
- 2.2. Расчет токов рабочего режима сети.
- 2.3. Расчет напряжений в точках сети.
- 2.4. Расчет токов короткого замыкания в точках сети.
- 2.5. Расчет потерь активной мощности в линиях и трансформаторах.
- 2.6. Выдача сводок потерь энергии по заданной сети или группе сетей.
- 2.7. Расчет потерь в сетях низкого напряжения.
- 2.8. Расчет оптимальных положений токоразделов.
- 2.9. Редактирование параметров и модификация сети.

3. Структура комплекса

ПРОГРЭС реализован на ЭВМ ВЭСМ-6 и работает под управлением операционной системы "Дубна". Общение с пользователем осуществляется с помощью алфавитно-цифрового дисплея ВИДЕОТОН-340. В программном обеспечении комплекса можно выделить следующие функциональные блоки:

- 3.1. Диалоговый монитор.
- 3.2. Блок формирования модели сети.
- 3.3. Процедуры управления базой данных.

3.4. Процедуры работы со справочником.

3.5. Блок электротехнических расчетов.

3.6. Блок оптимизации сети.

3.7. Блок редактирования.

Диалоговый монитор выполняет анализ директив пользователя и вызов исполнительных процедур. При первом обращении он же производит активизацию базы данных.

Блок формирования модели получает информацию о сети в процессе диалога с пользователем. Программа выдает пользователю подсказку или запрос на каждую отдельную порцию информации. Преимущества такого подхода заключаются в следующем:

- 3.2.1. Возможен полный динамический контроль параметров сети с немедленным исправлением встретившихся ошибок.
- 3.2.2. Более наглядным становится представление информации.
- 3.2.3. Порядок следования параметров диктуется программой, а не пользователем, что позволяет избежать ошибок (с параметрами).
- 3.2.4. Возможность выдачи подсказок позволяет минимизировать число символов, набираемых пользователем в ответ, т.е. ускоряет работу.
- 3.2.5. Ликвидированы промежуточные этапы подготовки данных: запись информации на бланки и последующая пробивка на перфокарты, являющиеся источником появления дополнительных ошибок. Информация берется пользователем непосредственно с чертежа сети.

Основной проблемой при реализации диалогового подхода является проблема обеспечения сохранности данных при сбоях ЭВМ. Для обеспечения нормальной работы в процессе приема информации от пользователя организуются контрольные точки программы через каждые 8 строк диалога. При перезапуске комплекса после сбоя ЭВМ автоматически организуется переход в последнее запомненное состояние, т.е. не более чем на 8 строк диалога назад.

Специфической проблемой ввода информации о сетях является проблема идентификации ее элементов. В отсутствие технической возможности для ввода чертежей непосредственно в память ЭВМ пользователь вынужден сам задавать каждую линию сети в виде пары идентификаторов крайних точек линии. При этом легко пропустить часть линий или, что еще хуже, перепутать идентификаторы, близкие по начертанию, что приведет к неверному представлению структуры сети. В ПРОГРЭСе эта проблема решается следующим образом:

1. введен фиксированный синтаксис для идентификаторов точек сети. Несовпадение вновь появившегося идентификатора этому синтаксису классифицируется как ошибка, и текущий шаг диалога повторяется.

2. алгоритм приема списка линий сам "ведет" пользователя по чертежу сети, что позволяет уменьшить вероятность пропуска отдельных линий.

При этом список вершин графа сети составляется автоматически. Опишем вкратце этот алгоритм.

В начале его работы список v вершин графа состоит из единственного имени - имени источника питания. Имеются два указателя, L и j . Их начальные значения равны 1. Список R ребер графа первоначально пуст ($N=0$).

Шаг 1: Выдается запрос - какие вершины графа соединятся с v_j . Пользователь перечисляет все такие вершины. Если же ответ пустой, переходим к шагу 5.

Шаг 2: Имя каждой из полученных вершин v_i идем в списке v . Нашли - идем на шаг 4. Не нашли - идем на шаг 3.

Шаг 3: Пополнение v : $L=L+1$; $v_L=v_i$; $i=L$.

Шаг 4: Пополнение R : $N=N+1$; $R_N=(v_j, v_i)$.

Шаг 5: Продвижка j : $j=j+1$.

Если $j \leq L$, идем на шаг 1. Иначе прием линий окончен. После построения графа сети программа делает еще два цикла диалога по спискам R и v , запрашивая у пользователя, каким кабелем выполнена линия R_i ($i=1, 2, \dots, N$) и какие трансформаторы установлены в точке v_j ($j=2, 3, \dots, L$). Марки проводов и трансформаторов задаются своими техническими наименованиями, взятыми прямо с чертежа сети. База данных ПРОГРЭСа содержит справочные эксплуатационных характеристик типовых элементов сетей. Процедуры работы со справочником осуществляют вычисления параметров, перечисленных в I.I - I.3, и проводят контроль параметров на разумность.

Сформированная модель сети попадает в банк сетей ПРОГРЭСа, располагающийся на магнитной ленте или диске. Последующий доступ к этой сети производится по ее имени, получаемому из первых шести символов названия сети. Для организации сводок по группам сетей принято следующее правило: группа идентифицируется левым образом имен ее членов. Так, группа сетей ДУБНА1, ДУБНА2, ... может быть идентифицирована именами Д, ДУ, ДУБ, ДУБН, ДУБНА.

Процедуры электротехнических расчетов предполагают наличие правильно заданных токоразделов. Легко видеть, что при правильных токоразделах R_p графа $G=(V, R)$ граф $\bar{G}=(V, R \setminus R_p)$ является деревом с корнем в источнике питания. Это дерево и используется при расчетах. Токораспределение производится путем суммирования нагрузок вершин на проходе от листьев дерева \bar{G} к источнику. Затем на обратном проходе рассчитываются напряжения в узлах сети путем суммирования падений напряжения на пройденных линиях. При неправильном задании токоразделов, т.е. если \bar{G} не является деревом, программа сама строит \bar{G} из G . Результаты расчета выдаются на печать в виде таблиц. Линии, не входящие в \bar{G} , т.е. токоразделы, на выходе помечаются символом P . Оптимизацией графа G является такое дерево $\bar{G} \in G$, для которого $f(\bar{G}) = \min_{\bar{G} \in G} \{f(\bar{G})\}$, где f - заданная функция. В нашем случае f есть сумма потерь активной мощности на линиях сети. Процедура оптимизации разработана авторами [2] и [3]. В ПРОГРЭСе предусмотрена возможность проводить оптимизацию в несколько этапов, запоминая каждый раз 10 лучших вариантов.

Эксплуатация ПРОГРЭСа имеет ярко выраженный сезонный характер, т.к. нагрузки в сетях меняются со сменой времен года. Кроме того, сети постоянно модифицируются. Все это требует наличия аппарата редактирования как параметров элементов сетей, так и самой структуры сетей. Редактор ПРОГРЭСа построен по принципу произвольного доступа к элементам сети по их идентификаторам. Директивы редактора имеют следующий унифицированный формат:

<тип действий> <класс объектов> <имя объекта>

Например:

УБЕРИ ТРАНСФОРМАТОР ТП-1
ПОКАЖИ ЛИНИЮ ТП-1 ТП-2
ЗАМЕНИ КАБЕЛЬ ТП-22 ТП-24

Требование произвольности доступа к объектам находится в противоречии с требованием компактности размещения модели сети в базе данных, поэтому перед началом редактирования модель разбивается на отдельные компоненты, которые записываются в файл с рандомизированным доступом, а по окончании редактирования производится сборка модели из компонентов с дополнительным контролем структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сапожников А.П., Лебедев С.С. Применение ЭВМ для решения задач электросетевых предприятий. Пром. энергетика № 12, 1979.
2. Силин И.Н., Федюнькин Е.Д. ОИЯИ, Р5-12995, Дубна, 1979.
3. Мазепа Е.Ю., Силин И.Н., Федюнькин Е.Д. ОИЯИ, Р5-12874, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 мая 1980 года.