

ТОПОЛОГИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

д.т.н., проф. О.Г. Гриб, к.т.н. В.Н. Бурцев, к.т.н. А.Л. Ерохин

Рассматриваются модели топологий систем управления в электрических сетях, которые образуют иерархическую структуру подсистем, связанных между собой отношениями субординации и координации. Предложена модель нештатной ситуации в электрической сети.

При управлении современными электрическими сетями актуальной задачей является поддержка принятия диспетчерских решений в аварийных ситуациях [1]. Наиболее современными технологиями, позволяющими диспетчеру повысить эффективность принимаемых решений, являются геоинформационные технологии (ГИС).

Рассмотрим модель топологии геоинформационной системы управления. Такая модель образует иерархическую структуру подсистем. Основным видом связей между подсистемами являются отношения субординации и координации или отношения по горизонтали и по вертикали. При этом жесткость субординационных связей обеспечивает системе неизменность структуры. Исследуются математические модели топологий систем управления, основанных на геоинформационном подходе. Рассмотрим каждую из подсистем как "черный ящик" [1], что позволяет оперировать параметрами их "входов - выходов". Введем понятия "поставщик" электрической энергии W_s и "потребитель" Z_{is} . В такой интерпретации любой "поставщик" W_s является надсистемой, независимо от того, генерируется им или перерабатывается электрическая энергия. На основе статистики изменений баланса "тока - мощности" определяются интервалы их допустимых изменений $\pm\Delta I, \pm\Delta P$ соответственно [2]. Геоинформационная система (ГИС) управления является формализованной информационно-аналитической моделью [3, 4]. Любой выход параметров (ток, мощность) за пределы $\pm\Delta I, \pm\Delta P$ ГИС начнет квалифицировать как нестандартную ситуацию.

Наиболее простая топология ГИС задана на метрическом двумерном пространстве. С точки зрения анализа энергетических потоков более информативной топологией является множество энергетических параметров, определяющих структуру связей входов - выходов между подсистемами. Множества (W_s, Z_{si}) по одному из мгновенных значений токов I_t , напряжений U_t или мощности P_t могут быть разбиты на классы топологически

эквивалентных признаков. Рассмотрим на S -м уровне иерархии подмножество "выходов" энергетических параметров от поставщика W_s на "входы" потребителей Z_{is} , отнесенных к R -классу признаков

$$W_s \leftrightarrow \bigcup_{i \in M^2} Z_{is}, \quad (1)$$

где is – число потребителей энергии, размещенных упорядоченным образом на S -м уровне иерархии; M^2 – метрическое пространство, на котором заданы системы связей.

Для удобства в ГИС-модели многополюсник (рис. 1) имеет базовую вершину $W_s^-(1)$ первого субграфа, от которой поступают к потребителям $Z_{2s}, Z_{3s}, \dots, Z_{(i+1)s}$ энергии и базовая вершина $W_s^+(i+2)$ (общий нуль системы) второго субграфа. Положительный знак базовой вершины $W_s^+(i+2)$ определяет "вход" всех "нулей" от подсистем Z_{is} . Обе базовые вершины связаны между собой отношением тождественности.

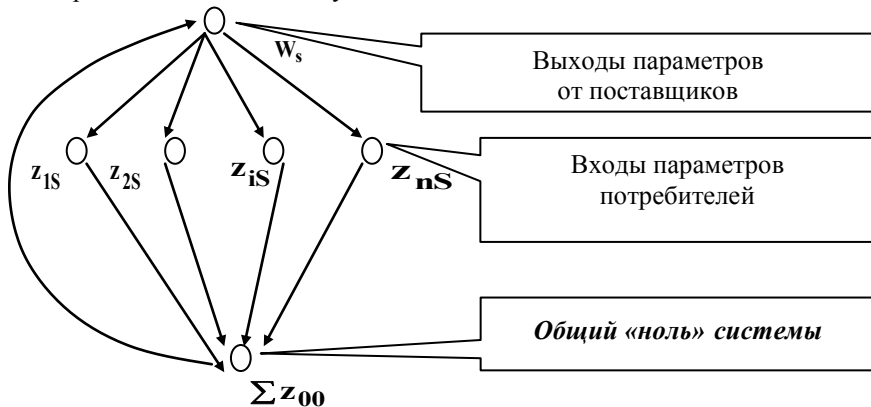


Рис. 1. Многополюсный граф энергетических связей субординации в классе признаков S между поставщиком и потребителями

Для ГИС модели поперечными переменными будут значения I_{it} и P_{it} , а продольными – U_{it} . Уравнения связей между ППЭ на основании (1) представляют собой баланс токов и мощностей с распределенными потоками

$$I_t W_s^- = \sum_{i=1}^n I_t Z_{is}^+ \quad \text{или} \quad P_t W_s^- = \sum_{i=1}^n P_t Z_{is}^+. \quad (2)$$

Считаем, что активные и реактивные нагрузки потребителей являются сбалансированными и не оказывают влияния на изменения частоты ν_t тока и угловых параметров ϕ_t . Перепишем параметры (2) с учетом

допустимых изменений $\pm \Delta I, \pm \Delta P$ в виде:

$$I_t W_s^- - \sum_{i=1}^n I_t Z_{is}^+ = \pm \Delta I; \quad P_t W_s^- - \sum_{i=1}^n P_t Z_{si}^+ = \pm \Delta P \quad \text{для } \forall t \in T. \quad (3)$$

Для принятия адекватного решения по восстановлению целостности электрической сети, кроме информации об энергетических параметрах, для ГИС необходимы дополнительные параметры. Так, между подсистемами могут быть определены:

– ресурсные связи R , которые для W_s - $R^+(\sum P_t^- \times T)$, а для потребителей Z_{is} - $R_i^-(\sum P_t^+ \times T)$, в T -интервале времени;

– связи D аварийно - технических и ремонтных служб $D(x_{sj}, y_{sj})$, $D_i(p_{sj}, r_{sj})$, где (x, y) , (p, r) - координаты, определяющие положение места аварии со стороны поставщика и потребителя соответственно.

Информация о минимальных расстояниях от точки аварии (p_{sj}, r_{sj}) до точки $(x_s, y_s) \in W_s$ или до $(x_{si}, y_{si}) \in Z_{si}$ позволяет ГИС рекомендовать оптимальный вариант подключения структур D_W или D_Z для ликвидации аварии.

Выразим связи между поставщиком и потребителями в виде многопараметрической функции:

$$W_s \left(x_s, y_s, P_t^-, \sum_{t \in T} P_t^-, R^+ \left(\sum_{t \in T} P_t^- \times T \right), \varphi, D(x_{sj}, y_{sj}) \right); \quad (4)$$

$$Z_{si} \left(x_{si}, y_{si}, P_{it}^+, \sum_{t \in T} P_{it}^+, R_i^- \left(\sum_{t \in T} P_{it}^+ \times T \right), \varphi, D_i(p_{si}, r_{si}) \right), \quad (5)$$

где (x_s, y_s) , (x_{si}, y_{si}) - географические координаты поставщика и потребителя, заданные в базах данных;

$P_t^-, P_{it}^+, \sum_{t \in T} P_t^-, \sum_{t \in T} P_{it}^+$ - мгновенные и интегральные мощности поставщика и потребителя соответственно;

$R^+ \left(\sum_{t \in T} P_t^- \times T \right)$, $R_i^- \left(\sum_{t \in T} P_{it}^+ \times T \right)$ - значения ресурсных потоков;

φ - мгновенные значения углов между фазами тока;

D, D_i - параметры, характеризующие структуру аварийно-технических служб поставщика и потребителя;

Для анализа электрической сети используем 3 мгновенных энергетических параметра. Баланс мощностей в соответствии с (2), (4), (5) примет вид

$$PW_s^-(P_t^-, U_t, \rho_t) = \sum_{i=1}^p PZ_{si}^+(P_{it}^+, U_{it}, \rho_{it}), \forall t \in T. \quad (6)$$

В соответствии с (3) выражение (6) перепишем в виде

$$PW_s^-(P_t^-, U_t, \phi_t) \cong \sum_{i=1}^p PZ_{si}^+(P_{it}^+, U_{it}, \phi_{it}) \pm \Delta P, \forall t \in T. \quad (7)$$

Из (7) получаем небаланс мощностей

$$PW_s^-(P_t^-, U_t, \phi_t) - \sum_{i=1}^p PZ_{si}^+(P_{it}^+, U_{it}, \phi_{it}) \cong \pm \Delta P, \forall t \in T. \quad (8)$$

Правая часть дисбаланса (7, 8) представляет собой открытое множество, состоящее из счетного числа элементов, ограниченных сверху и снизу по модулю значения $2\Delta P$. Рассмотрим множество $V_s = \bigcup_{t \in T} Z_t$ как совокупность

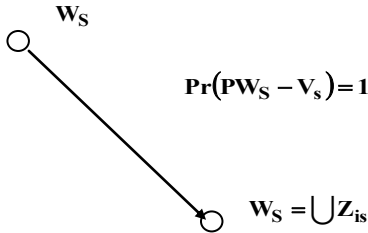


Рис. 2. Двухполюсный граф энергетических связей субординации в классе признаков S при оптимальном распределении энергопотоков от поставщика к потребителям энергии

купность открытых подмножеств. Если для всех значений реального времени t выполняется условие (8), то многополюсник может быть преобразован в двухполюсник, в котором выходной параметр мощности с базового полюса W_s остается неизменным, а множество параметров мощностей, принятых всеми потребителями Z_{si} , заменяется их суммой сосредоточенной в полюсе V_s (рис. 2).

В реальной ГИС модели двухполюсник (W_s, V_s) с предикатной переменной (12) характеризует стационарное распределение энергопотоков между ППЭ независимо от R -класса эквивалентности и S -уровня. Введем для сети со стационарным распределением энергопотоков новый элемент

$$\bar{V}_s : \left[W_s \cup V_s \quad \forall \left(PW_s^- - \sum_{i \in M^2} PZ_{si}^+ \right) \pm \Delta P = 0 \right]. \quad (9)$$

В такой интерпретации элемент $\bar{V}_s \in (V)$ является минимальным из множества отношений подсистем на любом из S -уровней сети. При объединении подсистем по всем классам эквивалентности элементы $\bar{V}_s \in (V) \quad \forall S = 1, 2, \dots, p$ образуют конечное множество (\bar{V}_s) со сложившейся структурой связей субординации между подсистемами, как это представлено на рис. 3.

Неизменность топологии множества $(\overline{V_s})$ является характеристикой стационарности распределения энергопотоков на всех уровнях сети.

При возникновении нештатной ситуации двухполюсник в ГИС модели преобразуется в многополюсник с восстановлением структуры связей выходов-входов. С этого момента в ГИС начинается классификация и распознавание нестандартной или аварийной ситуации.

Наибольший практический интерес представляет аварийная ситуация, способная вызвать отключение любой из подсистем с координатами (x_{sj}, y_{sj}) . Отключение означает, что в многополюснике ГИС модели произошел разрыв одной или более дуг, связывающих вершины $W_p \rightarrow Z_{kp}$.

Возникший небаланс мощностей требует оперативной компенсации активных и реактивных нагрузок. Задача компенсации активных и реактивных мощностей при нестационарном режиме представляет определенные вычислительные трудности [5], ограниченные к тому же дефицитом времени.

Рассмотрим топологию координационных связей между потребителями z_{is} на S-уровне. Между элементами множества потребителей $z_{is} \in V_s$, относящихся к R-классу эквивалентности, нет прямых энергетических связей, кроме общего "нуля" - базовой вершины $W_s^+(i+2)$ полярного графа. Слабая структурированность координационных связей и отсутствие прямых энергетических связей не позволяют решать вопросы компенсации электрической мощности между оставшимися, не отключенными потребителями. Для сетей с распределенными электрическими параметрами связи между $Z_{is} \in V_s$ являются информационно-координационными в режиме ожидания. Структура связей, соединяющих потребителей $Z_{is} \in V_s$, образует сеть. При разрыве энергетической связи

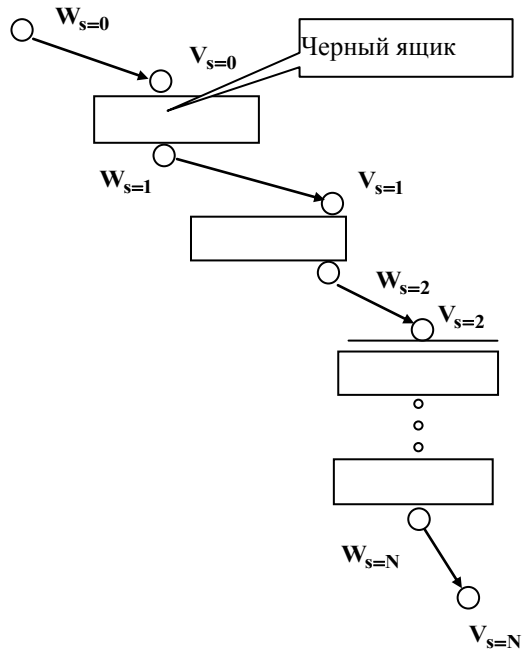


Рис. 3. Линейная организация двухполюсных графов (W, V) при сохранении баланса мощностей между поставщиком и потребителем

между (W_{1s}^-, Z_{ps}^+) происходит отключение Z_{ps} и информационно-координационные связи между оставшимися подсистемами $(V_s \setminus Z_{ps})$ формируют кольцевую структуру в обход Z_{ps} .

Определим минимальное число информационных параметров, достаточных для мониторинга параметров электрической сети. Распишем общее значение баланса (7, 8) мгновенной и интегральной мощностей электрического тока в виде суммы их реактивных и активных составляющих

$$P_{st}^- \approx (P_{At}^- + P_{Lt}^- + P_{Ct}^-); \sum_{i=1}^p P_{sit}^+ \approx \sum_{i=1}^p (P_{Ait}^+ + P_{Lit}^+ + P_{Cit}^+), \quad (10)$$

где P_{At}^- , P_{Ait}^+ - значения активных мощностей от поставщика к потребителю; P_{Lt}^- , P_{Lit}^+ - значения реактивных индуктивных мощностей; P_{Ct}^- , P_{Cit}^+ - значения реактивных емкостных мощностей.

С учетом (10) и (1), (2) выражение баланса (6) перепишем в виде

$$PW_s^-(P_{At}^- + P_{Lt}^- + P_{Ct}^-) \cong \sum_{i=1}^p PZ_{si}^+(P_{Ait}^+ + P_{Lit}^+ + P_{Cit}^+) \pm \Delta P \quad \forall t \in T. \quad (11)$$

Таким образом, исследование предложенной модели показало, что минимальным числом контролируемых информационных параметров являются значения P_{Lt}^- , P_{Lit}^+ и P_{Ct}^- , P_{Cit}^+ на любом из S-уровней подсистем Z_{si} . Параметры активных и реактивных мощностей являются управляемыми и конечной задачей ГИС можно считать информационно-координационную поддержку принятия решений при возникновении нестандартной или аварийной ситуации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лямец В.И., Тевяшев А.Д. Системный анализ. – Х.: ХТУРЭ, 1998. – 252 с.
2. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – ИПК : Изд-во стандартов, 1998.
3. О поддержке принятия решений при аварийных ситуациях в электрических сетях / О.Г. Гриб, А.Л. Ерохин, А.А. Светелик // Проблемы бионики. – 2000. – Вып. 53. – С. 28 - 30.
4. Системы поддержки принятия решений при авариях в энергосетях / А.Л. Ерохин // Проблемы бионики. – 1998. – Вып. 50. – С. 157 - 161.
5. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высш. шк., 1985. – 536 с.

Поступила 15.04.2002

ГРИБ Олег Герасимович, доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой электроснабжения городов ХГАГХ. Область научных интересов – качество электрической энергии.
ЕРОХИН Андрей Леонидович, канд. техн. наук, доцент кафедры информатики Нацио-

нального университета внутренних дел (Харьков). В 1988 году окончил ХИРЭ. Область научных интересов – управление в аварийных ситуациях. E-mail: eal@adm.univd.kharkov.ua .

БУРЦЕВ Валерий Николаевич, аспирант кафедры ПО ХИРЭ. Окончил ХГУ. Область научных интересов – моделирование нестационарных процессов.
