УДК 621.039.56

В. Д. Самойлов, д-р техн. наук,
Ин-т проблем моделирования
в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины
(Украина, 03164, Киев, ул. Генерала Наумова, 15,
тел. (044) 424-10-63, E-mail: samoylov.vd@gmail.com),
О. П. Нетлюх
Ин-т нейроматематического моделирования в энергетике
(Украина, Львов, ул. Мушака, 56,
тел. (050) 371-35-91, E-mail: yurchak_o@inbox.ru)

Модель коммутационной структуры подстанции

Рассмотрена новая информационная технология построения компьютерных моделей подстанций для тренажеров, как коммутационных структур. Предложен метод декомпозиции структуры графа подстанции с коммутационными компонентами, упрощающий расчет модели. Предложена методика формульного определения напряжений в узлах и токов в компонентах коммутационной структуры с помощью модельного программирования.

Розглянуто нову інформаційну технологію побудови комп'ютерних моделей підстанцій для тренажерів, як комутаційних структур. Запропоновано метод декомпозиції структури графа підстанції з комутаційними компонентами, що спрощує розрахунок моделі. Запропоновано методику формульного визначення напруги у вузлах і струмів в компонентах комутаційної структури за допомогою модельного програмування.

Ключевые слова: информационная технология, коммутационная структура, графическая спецификация, конструирование моделей.

Подстанция как коммутационная структура (КС). Основное оборудование электрической подстанции (ПС) — это трансформаторы и коммутирующие компоненты (КК), т.е. выключатели, разъединители, заземлители и др. Трансформаторы изменяют уровень напряжения, а коммутирующие элементы обеспечивают: плановое включение и выключение потребителей электроэнергии; устранение аварийных ситуаций; вывод оборудования в ремонт.

На подстанцию от электроэнергетической системы (ЭЭС) поступает напряжение высокого уровня (например, 220, 110 кВ), которое преобразуется в напряжение низкого уровня (например, 35, 10 кВ) и передается потребителям. Подстанция как преобразующая и коммутационная структура в составе ЭЭС представлена в виде схемы на рис. 1.

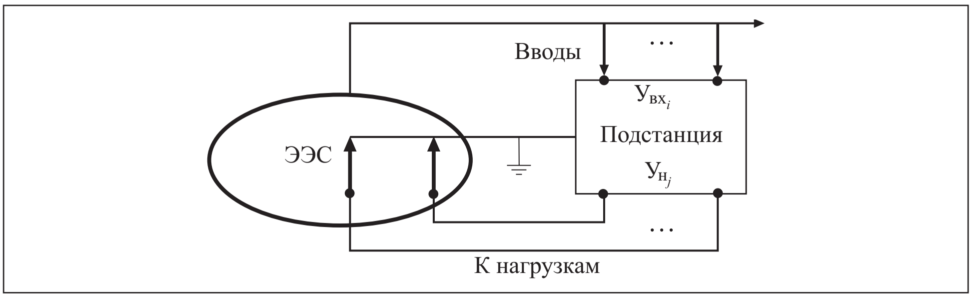

Рис. 1

Для противоаварийных тренажеров оперативных переключений необходима компьютерная модель подстанции, которая обеспечивает:

отображение состояния КК, моделирование функционирования — управление их включением и выключением;

определение наличия или отсутствия напряжения в узлах КС, а также токов в ее компонентах.

Коммутационная структура — это соединение КК, с помощью которых обеспечивается управление потоками мощности от источников к потребителям. Любая подстанция является КС. Узлы КС — это места соединения КК. Конкретные значения напряжений и токов не определяются, необходимо определять только их наличие или отсутствие.

Будем рассматривать три типа узлов КС:

1) входные узлы $У_{вх}$ — места ввода напряжений от ЭЭС;

2) выходные узлы $У_{н}$ — места выхода на нагрузки, которые размещены вне КС;

3) внутренние узлы КС.

Общая шина (заземление) — общая точка КС и ЭЭС, к которой подключены все нагрузки и некоторые КК (заземлители). На рис. 2 приведена мнемосхема подстанции, на которой указаны номера узлов, а на рис. 3 — граф ее КС.

Модель подстанции для тренажера должна обеспечить решение двух задач:

1. Определение наличия или отсутствия напряжений в узлах ПС при заданных значениях состояний ее КК. Свойству вершины Напряжение соответствует два значения $\{1, 0\}$, где 1 — наличие напряжения, 0 — его отсутствие. Предполагается, что в узле 0 как источнике (т.е. для дуг, направленных от этой вершины) Напряжение равно единице.

2. Определение наличия или отсутствия токов в КК. На графе каждой дуге соответствует свойство Ток с двумя значениями $\{1, 0\}$, где 1 — ток есть, 0 — ток отсутствует. Каждому ребру соответствует два значения тока: $Ток_{ij}$ и $Ток_{ji}$.

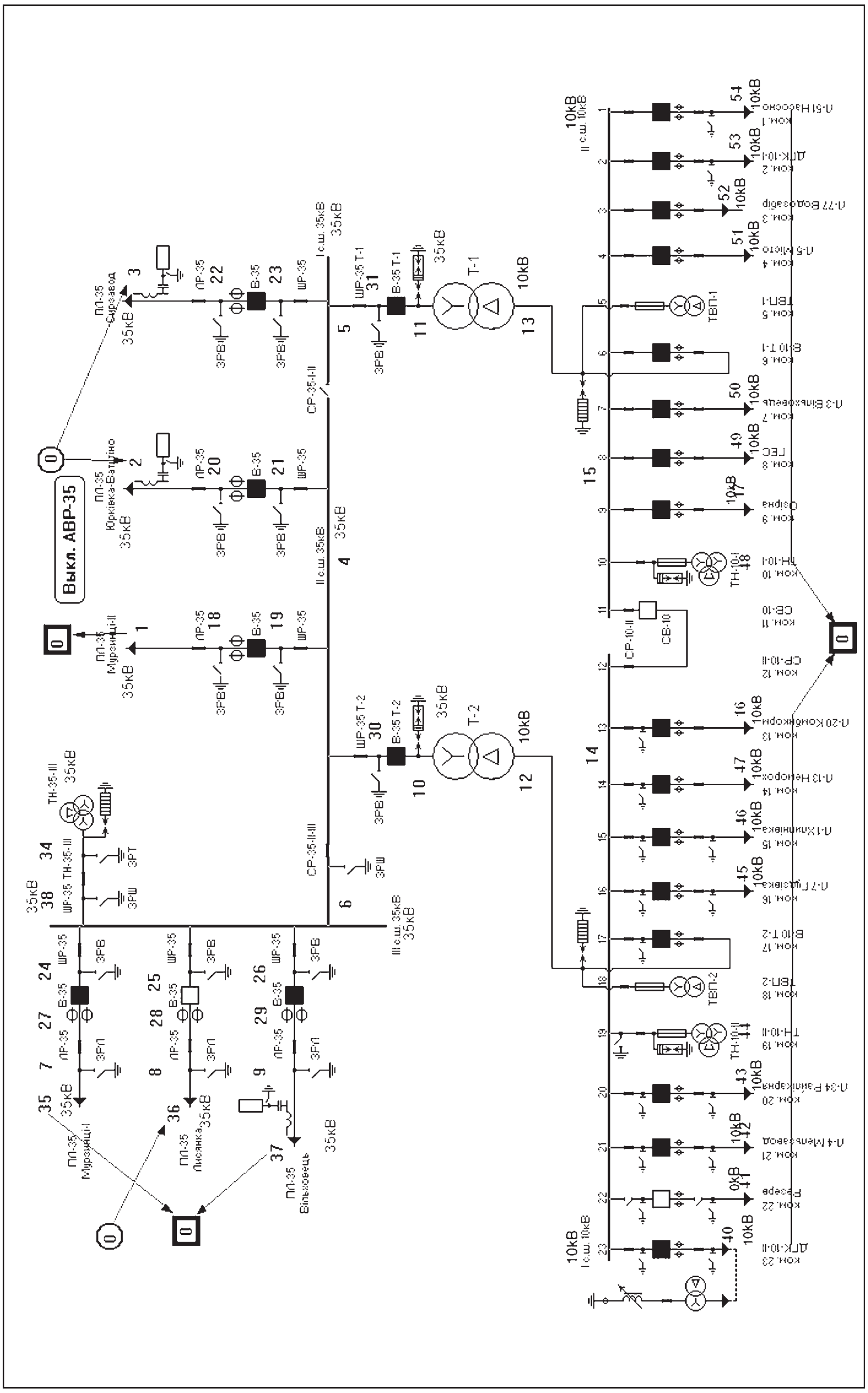

Рис. 2

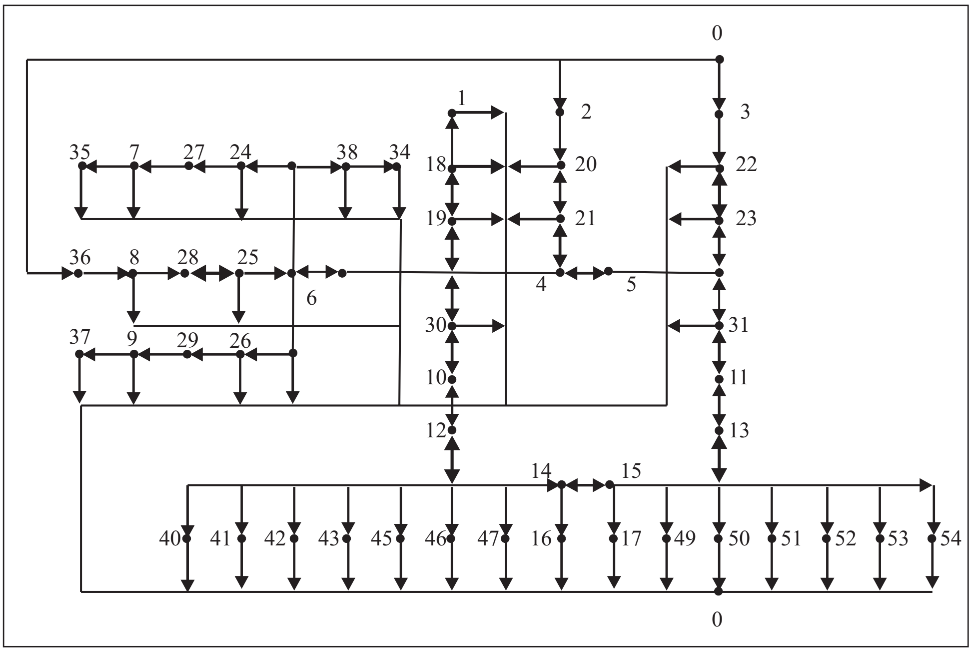

Рис. 3

Напряжение, равное единице, в j-м узле определяется наличием хотя бы одного пути из вершины 0 в этот узел в графе из дуг, состояния которых равны единице. Это задача определения достижимости вершин ориентированного графа из заданной вершины.

Наличие тока в КК (i, j), равного единице, обеспечивается, если узел i достижим по напряжению из узла 0 как источника, а узел j достижим по току из узла 0 как нагрузки. Достижимость j-й вершины графа по току обеспечивается наличием хотя бы одного пути вдоль дуг, состояния которых равны единице, из этой вершины в узел 0.

Компоненты и граф КС. Электрическая подстанция как пример объекта с КС представлена в виде графа КС на рис. 3. Она включает КК (выключатели, разъединители, заземлители) и трансформаторы. Каждому $КК_{jk}$ соответствует две ветви на графе с передачами t_{jk} и t_{kj}. При этом $t_{jk} = t_{kj} = c$, где $c \in$ {«Отключено», «Включено»}. Напимер, $КК_{14}$ соответствуют ветви с передачами t_{14} и t_{41}. Поставим в соответствие состояниям КК {«Отключено», «Включено»} значения $\{0, \alpha\}$, где $\alpha > 0$.

Однообмоточный трансформатор обычно отображается на графе одной ветвью с постоянным значением передачи $c = \alpha$, так как он не обладает коммутирующими свойствами.

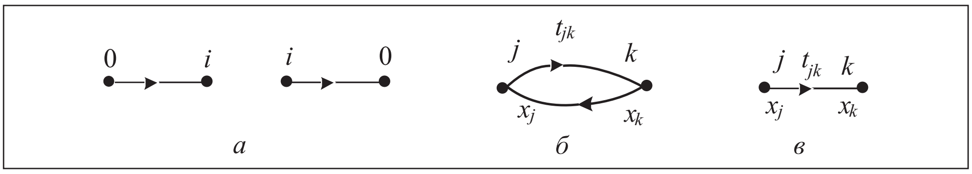

Рис. 4.

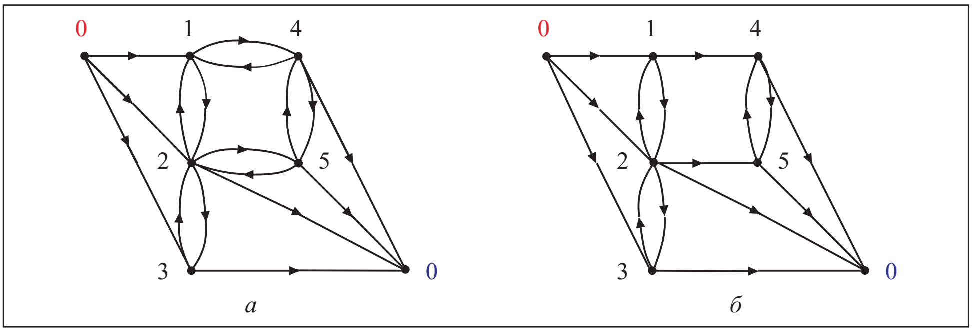

Рис. 5.

Многообмоточный трансформатор отображается числом ветвей, соответствующим числу вторичных обмоток. Двухобмоточному трансформатору на графе КС соответствуют две ветви с фиксированной передачей.

Каждому $КК_{jk}$ обычно соответствуют в графе две ветви с передачами $t_{jk} = t_{kj} = c$ и $c \in \{0, \alpha\}$, т.е. ветви с изменяемой передачей.

Анализ графа КС и задачи, решаемые с его помощью. Узел графа соответствует узлу КС. Ветвь графа соответствует КК — это линия со стрелкой, соединяющая два узла. Каждому узлу j соответствует узловой сигнал x_j.

Для отображения ЭЭС в графе КС используем узел 0. Если расщепить узел 0 на два узла, $0^{и}$ — узел «источник» и $0^{с}$ — узел «сток», то узловой сигнал ЭЭС x_0 можно представить двумя узловыми сигналами ЭЭС как источника и как стока — $x_0^{и}$ и $x_0^{с}$. Узел 0 является независимым узлом с заданным значением $x_0^{и} = 1$.

Каждому КК соответствует одна или две направленные ветви графа. Ветвь jk начинается в j-м узле и заканчивается в k-м узле. Направление указано стрелкой на ветви. Каждая ветвь jk связана с числом, называемым передачей ветви t_{jk}.

Связи любых i-х узлов графа с узлом 0 являются направленными и отображаются одной ветвью (рис. 4, *а*).

Внутренние узлы графа КС могут быть связаны одной направленной или двумя встречно направленными ветвями. Например, КК в графе соответствуют две встречно направленные ветви (рис. 4, *б*), а трансформатору — чаще всего одна ветвь (рис. 4, *в*). Если по каким-либо причинам, определяемым объектом КС, $КК_{jk}$, связывающий узлы j и k, обеспечивает только влияние узла j на узел k, в графе ему соответствует одна ветвь с передачей t_{jk}. Если $КК_{jk}$ обеспечивает взаимное влияние узлов j и k, то эти узлы в графе соединяются двумя ветвями с передачами t_{jk} и t_{kj}.

Пример простого графа КС приведен на рис. 5, *а*, а на рис. 5, *б* — вариант графа, где ветви (1, 4) и (2, 5) соответствуют трансформаторам. Входные узлы КС, обозначенные 1, 2, 3, связаны одиночными ветвями с узлом источником $0^{и}$; t_{01}, t_{02}, t_{03} — передачи ветвей. Выходные узлы 2, 3, 4, 5 связаны с узлом $0^{с}$. Одиночные ветви (2,0), (3,0), (4,0), (5,0) задают нагрузки с передачами t_{20}, t_{30}, t_{40}, t_{50}. Узлы 1, 2, 3, 4, 5 связаны между собой КК, с помощью которых обеспечивается взаимное влияние узлов.

Задача определения напряжений в узлах КС сводится к определению достижимости внутренних узлов графа из узла $0^{и}$. Если есть хотя бы один путь из узла $0^{и}$ в узел j и при этом состояние ветвей такого пути «Включено», узел j считается достижимым из узла $0^{и}$, а это означает наличие напряжения в узле j.

Коммутирующие компоненты обеспечивают соответствие КС графу с изменяемыми передачами ветвей. Изменение состояния любого КК требует пересчета графа для определения значений узловых сигналов x_j.

Для решения задачи определения узловых сигналов требуется только выяснить, есть ли напряжение в j-м узле, т.е. $x_j = 0$ (отсутствие) или $x_j =$ $=1$(наличие) на графе КС.

Декомпозиция графа с учетом специфики КС подстанции. Анализ КС подстанции позволяет выделить базовые узлы (в основном — шины), которые соединены последовательными цепочками КК (выключатель и два разделителя). Признак базового узла — соединение в нем нескольких коммутационных цепочек — позволяет с помощью алгоритма выделять базовые узлы. Число базовых узлов существенно меньше числа узлов полного графа КС и формульная модель их расчета значительно проще модели для расчета всех узлов ПС. Коммутационное состояние одной цепочки между базовыми узлами определяется как произведение передач составляющих ее КК:

$$T_{jk} = \prod_i t_i^m .$$

Базовые узлы могут быть связаны несколькими параллельными цепочками из КК. В этом случае передача ветви T_{jk}, заменяющей в базовом графе такой набор из m параллельных цепочек, имеет вид

$$T_{jk} = \underset{m}{\text{ИЛИ}}\left(\underset{i}{\text{И}}\ t_i^m\right), \text{ или } T_{jk} = \text{sign}\left(\sum_m \left(\prod_i t_i^m\right)\right).$$

Следовательно, передача такой ветви равна нулю, только если ВСЕ цепочки разомкнуты ($t^m = 0$), и равна единице, если хотя бы одна цепочка замкнута. Параллельные цепочки между базовыми узлами в КС обычно соответствуют КК, обеспечивающим подключение нагрузок, а базовые узлы — это, в основном, шины различных напряжений ПС.

После определения напряжений в базовых узлах и токов в коммутационных цепочках достаточно просто определяются напряжения во внутренних узлах любой цепочки.

Пусть u_j^m, u_k^m — значения напряжений в базовых узлах m-й цепочки, соединяющей узлы j и k. Напряжение во внутреннем i-м узле этой цепочки определяется по формуле

$$u_i^m = u_j^m * (t_{j,1} * t_{1,2} * \ldots * t_{i-1,i}) \text{ ИЛИ } u_k^m * (t_{i,i+1} * t_{i+1,i+2} * \ldots * t_{k-1,k}).$$

Ток I_{jk} в цепочке определяется для схемы из базовых узлов и для каждого КК цепочки не требует пересчета.

Формулы расчета передач графа КС. Рассмотрим, как влияют особенности графа КС на формулы расчета передачи [1, 2] между любыми узлами. В [1] предлагается общее выражение передачи графа (правило Мэзона) от источника x_j к стоку x_k:

$$T_{jk} = \frac{[(P_1 + P_2 + \ldots + Pp)(1 - L_1)(1 - L_2) \ldots (1 - Lm)]^*}{(1 - L_1)(1 - L_2) \ldots (1 - Lm)]^*}. \tag{1}$$

Числитель этого выражения представляет собой сумму возможных путей между узлами j и k. Каждый путь умножен на коэффициент, представляющий собой произведение контурных составляющих вида $(1 - L_i)$, где L_i — передача i-го контура. При этом коэффициент для каждого пути содержит только те контуры, которых не касается данный путь. Знаменатель выражения соответствует определителю графа.

Для графа КС передачи ветвей могут принимать одно из двух значений $\{0, \alpha\}$. Значение передачи c_{jk}, равное нулю, исключает из графа этот компонент, т.е. возникает граф с новой структурой. Эта структура принадлежит множеству структур исходного графа, для которых все $c_{jk} = \alpha$.

Формулы передачи графа КС при $t_{jk} = \alpha$ можно использовать при переключениях любых КК в состояние $t_{jk} = 0$. При $\alpha = 1$ определитель графа КС равен нулю и формула передачи не обеспечивает решения. Поскольку значение α может быть выбрано любым, примем $0 < \alpha < 1$. Любой i-й контур графа КС — это произведение передач ветвей, образовавших контур, т.е. $L_i = \alpha^n$, где n — число ветвей в контуре. Поэтому $L_i < 1$ и $(1 - L_i) < 1$. Если для любого компонента контура $t_{jk} = 0$, то $L_i = 0$ и $(1 - L_i) = 1$.

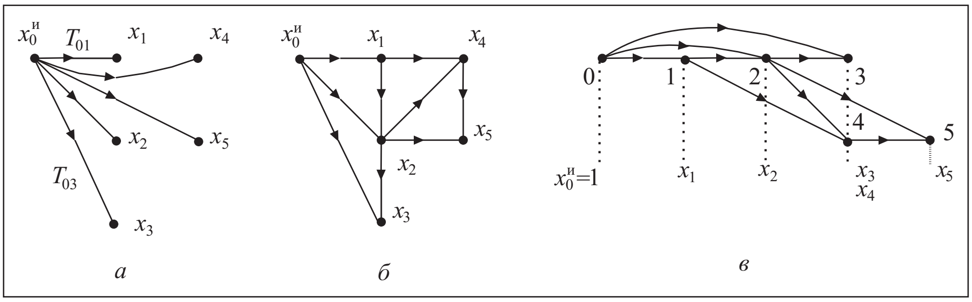

Рис. 6

Определитель графа КС $0 < \Delta < 1$ при $0 < \alpha < 1$ и соответственно $t_{jk} \in \{0, \alpha\}$. Составляющая коэффициента числителя $K^{\text{ч}}$ в виде набора сомножителей $(1 - L_i)$ является числом большим нуля и меньшим единицы. Поэтому $K^{\text{ч}} / \Delta \neq 0$. Для того чтобы определить, есть передача сигнала между узлами или она отсутствует $(T_{jk} \in \{0, 1\})$, ненулевой сомножитель $K^{\text{ч}} / \Delta$ в (1) можно исключить и записать

$$T_{jk} = (P_1 + P_2 + ... + P_p) > 0 . \quad (2)$$

Следовательно, $T_{jk} = 1$, если существует хотя бы один путь между узлами j и k, иначе $T_{jk} = 0$. Используя логический оператор «ИЛИ», формулу (2) можно представить в виде

$$T_{jk} = P_1 \text{ ИЛИ } P_2 \text{ ИЛИ } \ldots \text{ ИЛИ } P_p , \quad (3)$$

т.е. T_{jk} равно дизъюнкции значений всех возможных путей между узлами j и k. При наличии хотя бы одного пути между x_j и x_k будет $x_k = x_j$, если такой путь отсутствует, то $x_k = 0$.

Формулы графа КС и его преобразование в каскадный граф. Определим передачи ветвей из узла $0^{\text{и}}$ во все узлы графа, изображенного на рис. 5, *а*:

$$\begin{aligned}
&T_{01} = t_{01} + (t_{02} + \boldsymbol{t}_{03} * \boldsymbol{t}_{32}) * (t_{21} + \boldsymbol{t}_{25} * \boldsymbol{t}_{54} * \boldsymbol{t}_{41});\\
&T_{02} = t_{01} * (t_{12} + \boldsymbol{t}_{14} * \boldsymbol{t}_{45} * \boldsymbol{t}_{52}) + t_{02} + t_{03} * t_{32};\\
&T_{03} = t_{01} * (t_{12} * t_{23} + \boldsymbol{t}_{14} * \boldsymbol{t}_{45} * \boldsymbol{t}_{52} * \boldsymbol{t}_{23}) + t_{02} * t_{23} + t_{03};\\
&T_{04} = t_{01} * (t_{14} + t_{12} * t_{25} * t_{54}) + t_{02} * (t_{21} * t_{14} + t_{25} * t_{54}) +\\
&\qquad + t_{03} * t_{32} * (t_{21} * t_{14} + t_{25} * t_{54});\\
&T_{05} = t_{01} * (t_{14} * t_{45} + t_{12} * t_{25}) + t_{02} * (t_{25} + t_{21} * t_{14} * t_{45}) +\\
&\qquad + t_{03} * t_{32} * (t_{25} * t_{21} + t_{14} * t_{45}).
\end{aligned} \quad (4)$$

Значения сигнала в этих узлах при $x_0 = 1$ следующие:

$$x_1 = T_{01} > 0;\ x_2 = T_{02} > 0;\ x_3 = T_{03} > 0;\ x_4 = T_{04} > 0;\ x_5 = T_{05} > 0.$$

Результирующий граф, использующий эти передачи, представлен на рис. 6, *а*. Если ветви (1, 4) и (2, 5) — трансформаторы, которым в графе соответствуют только ветви с передачами t_{14} и t_{25} (см. рис. 5, *б*), то из формулы (4) исчезают члены, содержащие t_{41} и t_{52} (полужирные), и выражения для T_{01}, T_{02}, T_{03} упрощаются.

Формулы передачи (4) напрямую связывают любой узел с $0^{и}$. Они не зависят одна от другой и поэтому относительно сложны. Их целесообразно использовать при расчете отдельных узловых сигналов. При необходимости расчета значений для всех узлов следует использовать формулы с учетом уже вычисленных значений узловых сигналов. При этом целесообразно в первую очередь определять узловые сигналы в узлах, ближайших к уже рассчитанным.

Рассмотрим пример такого расчета. Значение $x_0^{и} = 1$ известно. Ближайшие узлы 0, 1, 2, затем следуют узлы 4, 5. Формула для x_1 совпадает с правой частью T_{01} из (4):

$$\begin{gathered} x_1 = (t_{01} + (t_{02} + t_{03} * t_{32}) * (t_{21} + t_{25} * t_{54} * t_{41})) > 0; \\ x_2 = ((t_{02} + t_{03} * t_{32}) + (t_{12} + t_{14} * t_{45} * t_{52}) * x_1) > 0; \\ x_3 = (t_{03} + t_{23} * x_2) > 0; \\ x_4 = (t_{12} * x_1 + t_{25} * t_{54} * x_2) > 0; \\ x_5 = (t_{25} * x_2 + t_{45} * x_4) > 0. \end{gathered} \tag{5}$$

При этом граф с контурами преобразуется в каскадный граф (рис. 6, *б*). Расчет узловых сигналов по формулам (5) следует выполнять в порядке, заданном структурой ПС связей. Этот порядок в виде цепочки счета определяется алгоритмом, описанным в работе [3]. Цепочка счета для (5) 1, 2, (3, 4), 5 представлена на рис. 6, *в*. Существует много вариантов набора формул (5) и возможен выбор варианта с минимальным числом операций.

Определение токов в компонентах КС. В графе КС компоненту $КК_{jk}$ соответствует направленная ветвь, если направление тока (передача мощности) возможно только от j к k. Если возможны два направления тока от j к k и от k к j, то $КК_{jk}$ в графе может быть задан двумя ветвями. Наличие двух токов для одной ветви означает, что фактический ток в такой ветви (передача мощности) может иметь любое из двух направлений.

Если узлы j и k графа КС связаны одной ветвью, то ток в этой ветви определяется по формуле

$$I_{jk} = x_j^{н} \cdot T_{k0} \cdot t_{jk}, \tag{6}$$

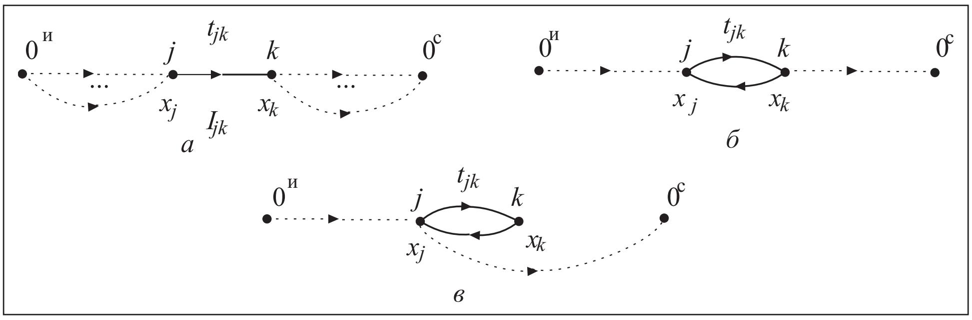

Рис. 7

где $x_j^{н}$ — доступность узла j по напряжению, т.е. от узла истока $0^{и}$; T_{k0} — доступность из узла k узла стока $0^{с}$; t_{ik} — передача ветви {0, 1}.

Ток I_{ik} в ветви будет только при условии $x_j^{н} = 1$, $T_{k0} = 1$, $t_{ik} = 1$ (рис. 7, *а*). Сложнее определять токи для компонента, которому в графе КС соответствует две ветви. В этом случае следует определять два тока, I_{ik} и I_{ki} , в каждой из ветвей (рис. 7, *б*). Для такого компонента $t_{jk} = t_{kj} = 1$, и если $x_j^{н} = 1$, то и $x_k^{н} = 1$, соответственно, если $T_{k0}^{т} = 1$, то $T_{j0}^{т} = 1$. Отсюда по формуле (6) находим $I_{jk} = 1$ и $I_{kj} = 1$, хотя фактически должно быть $I_{kj} = 0$ (см. рис.7, *а*), т.е. обратного тока не должно быть. Для графа, представленного на рис. 7, *в* также получаем $I_{jk} = 1$ и $I_{kj} = 1$, хотя должно быть $I_{jk} = 0$ и $I_{kj} = 0$.

Правильное определение токов обеспечивает выражение (6) при $t_{jk} = 1$, однако значения $x_j^{н}$, $x_k^{н}$, $T_{k0}^{т}$, $T_{j0}^{т}$ определяем при $t_{jk} = 0$, т.е. фиктивно отключенном компоненте КК$_{jk}$:

$$I_{jk} = x_j^{н} \cdot T_{k0}^{т}, \; I_{kj} = x_k^{н} \cdot T_{j0}^{т}. \tag{7}$$

Таким образом, наличие тока в КК$_{jk}$ возможно при следующих условиях:

если компонент включен, $t_{jk} = 1$;

если один из его узлов доступен из узла истока $0^{и}$, т.е. существует хотя бы один путь из $0^{и}$ в узел j (или k), причем $t_{jk} = 0$;

если для второго k-го (j-го) узла существует путь в узел стока $0^{с}$, причем $t_{jk} = 1$.

Преобразуем правые части выражений (7): $x_j^{н} = x_0 \cdot T_{0j}^{т}$; $x_k^{н} = x_0 \cdot T_{0k}^{т}$. Поскольку $x_0 = 1$, запишем $x_j^{н} = T_{0j}^{т}$, $x_k^{н} = T_{0k}^{т}$, и тогда выражения (7) можно переписать в виде

$$I_{jk} = T_{0j}^{т} \cdot T_{k0}^{т} \cdot t_{jk}; \, I_{kj} = T_{0k}^{т} \cdot T_{j0}^{т} \cdot t_{jk}. \tag{8}$$

Здесь все передачи с верхним индексом «т» определены при условии $t_{jk} = 0$. Это обеспечивает отсутствие в них составляющих, проходящих через ветви $\{j, k\}$ и $\{k, j\}$.

Поскольку при отключенном КК$_{jk}$ токи в нем равны нулю и вычислять их по (8) не имеет смысла, запишем

$$I_{jk} = \begin{cases} 0 & \text{при } t_{jk} = 0, \\ T_{0j}^{\text{т}} \cdot T_{k0}^{\text{т}} & \text{при } t_{jk} = 1; \end{cases}$$
$$I_{kj} = \begin{cases} 0 & \text{при } t_{jk} = 0, \\ T_{0k}^{\text{т}} \cdot T_{j0}^{\text{т}} & \text{при } t_{jk} = 1. \end{cases} \qquad (9)$$

Полученное с помощью (9) значение $I_{jk} > 0$ или $I_{kj} > 0$ является произведением числа путей, которые подводят напряжение в узел j (k) из узла 0 или отводят токи из узла k (j) в узел 0.

Если необходимо только установить факт наличия тока ($I = 1$) или его отсутствия ($I = 0$), то в (8) вместо $T_{0j}^{\text{т}} \cdot T_{k0}^{\text{т}}$ используем $(T_{0j}^{\text{т}} > 0) \cdot (T_{k0}^{\text{т}} > 0)$ или в формулах (4) вместо операторов «+», «*» используем операторы «ИЛИ», «И». Передачи $T_{0j}^{\text{т}}$ и $T_{0k}^{\text{т}}$ определяются по формулам (4) или (5), а $T_{j0}^{\text{т}}$ и $T_{k0}^{\text{т}}$ — по формулам (4), но при условии, что j или k это узлы источники, а 0 — узел стока.

В качестве примера определим токи в ветвях $\{1, 4\}$ и $\{4, 1\}$ графа КС, представленного на рис. 5, *а*:

$$T_{01}^{\text{т}} = t_{01} + t_{21} * (t_{02} + t_{03} * t_{32});$$
$$T_{40}^{\text{т}} = t_{40} + t_{45} * (t_{50} + t_{52} * t_{23} * t_{30});$$
$$I_{14} = \begin{cases} 0 & \text{при } t_{14} = 0, \\ T_{01}^{\text{т}} \cdot T_{40}^{\text{т}} & \text{при } t_{14} = 1; \end{cases}$$
$$T_{04}^{\text{т}} = (t_{01} * t_{12} + t_{02} + t_{03} * t_{32}) * t_{25} * t_{54};$$
$$T_{10}^{\text{т}} = t_{12} * (t_{23} * t_{30} + t_{25} * (t_{50} + t_{54} * t_{40}));$$
$$I_{41} = \begin{cases} 0 & \text{при } t_{14} = 0, \\ T_{04}^{\text{т}} \cdot T_{10}^{\text{т}} & \text{при } t_{14} = 1. \end{cases}$$

Вывод. Основой компьютерных противоаварийных тренажеров и тренажеров оперативных переключений для персонала подстанции является модель КС. Разработанный метод построения логических или алгебрологических формул пересчета КС позволяет строить относительно простые компьютерные модели для таких тренажеров.

A new information technology for construction of computer models of substations for simulators as interconnect structures is examined. A method of structural decomposition for a substation graph with interconnect component (IC) simplifying the model calculation is proposed. A procedure of formula determination of tension in knots and currents inside the components of interconnect structure with a model coding pattern is suggested.

1. *Мэзон С., Цимерман Г.* Электронные цепи, сигналы и системы. — М. : ИЛ, 1963. — 375 с.
2. *Абрахамс Дж., Каверли Дж.* Анализ электрических цепей методом графов.— М. : Мир, 1967. — 427 с.
3. *Самойлов В. Д.* Модельное конструирование компьютерных приложений. — Киев : Наук. думка, 2007. — 198 с.

Поступила 03.09.09

САМОЙЛОВ Виктор Дмитриевич, д-р техн. наук, профессор, зав. отделом имитационного моделирования Ин-та проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины. В 1960 г. окончил Украинскую академию сельскохозяйственных наук. Область научных исследований — компьютерные технологии моделирования, тренажеры, профессиональная диагностика в энергетике.

НЕТЛЮХ Ольга Петровна, науч. сотр. Ин-та нейроматематического моделирования в энергетике. В 2000 г. окончила Национальный университет «Львовская политехника». Область научных исследований — технологии моделирования ситуационных тренажеров.