

УДК 621.31

© 2015 г. **Н.В. Киншт**, д-р техн. наук,  
**Н.Н. Петрунко**, канд. техн. наук  
(Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток)

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Сформулированы задачи диагностики систем заземления (СЗ) электроустановок как на этапе паспортизации СЗ, так и в течение их эксплуатации. Рассмотрена математическая модель СЗ в виде сложной электрической цепи. Формализовано описание и решение задачи диагностики СЗ. Приводится численный пример.

**Ключевые слова:** заземление, математическое моделирование, электрическая цепь, диагностика.

### Введение

Устройства заземления электроустановок играют важную роль в обеспечении защиты обслуживающего персонала и оборудования при аварийных ситуациях, информационного обеспечения релейной защиты, молниезащиты, в более широком смысле – информационных, защитных функций и обеспечении электромагнитной совместимости различного рода электро- и электронного оборудования [1]. Эти устройства представляют собой разветвленные системы, включающие в себя заземлители и соединительные проводники, располагаются на обширных пространствах и занимают территорию расположения зданий и сооружений (рис. 1).

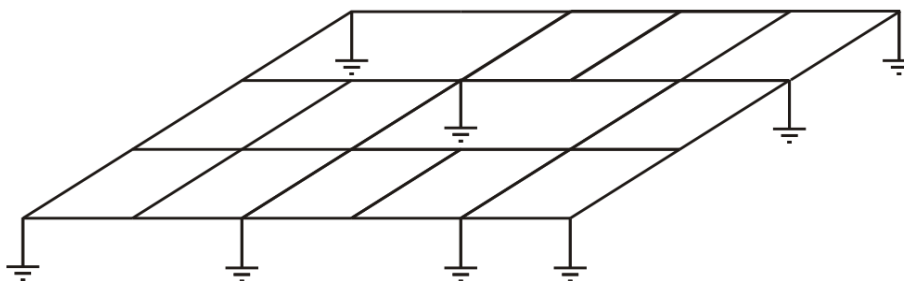


Рис. 1. Схематическое представление системы заземления.

Таким образом, конфигурируется целая система заземления с количеством элементов до нескольких сотен. В проект системы заземления закладываются расчетные значения параметров конструктивных элементов, однако реальные численные параметры СЗ в процессе ее реализации остаются весьма недоопреде-

ленными. В процессе же эксплуатации они могут значительно под влиянием как метеоусловий, так и в результате коррозии элементов и ослаблении механических соединений проводников.

В принципе необходимо было бы иметь, построить и сопровождать в процессе эксплуатации достаточно подробную математическую модель СЗ. Так, например, параметры математической модели электрической схемы энергосистемы с достаточно высокой степенью точности и подробности известны, именно – параметры генераторов, линий передачи, нагрузок; это позволяет в любой момент анализировать и прогнозировать режимы ее работы при любых переключениях и внешних воздействиях. Современные СЗ также требуют наличия точной и подробной математической модели. В настоящее время в требованиях к СЗ не формулируется необходимость построения такой модели; по-видимому, подобное требование будет сформулировано в ближайшей перспективе. Потенциальные возможности анализа токов, протекающих в СЗ как в стационарных, так и переходных и аварийных режимах, представляются достаточно высокими и в настоящее время в большой степени недоиспользованными, особенно если ориентироваться на широкое применение «умных» ИТ. Реальная модель может быть построена лишь на основании обследований «живой» системы заземления, находящейся в эксплуатации. Здесь необходимо привлечение идей, методов и технологий технической диагностики, в частности – диагностики электрических цепей (ДЭЦ). Цель настоящей работы заключается в установлении связи содержательной постановки диагностики сложной СЗ с возможностью применения апробированных идей ДЭЦ, в том числе – новой формализации задачи, ориентированной на практику эксплуатации СЗ.

### **Общие принципы диагностики электрических цепей**

Первые теоретические исследования в области ДЭЦ проводились еще в 1960-х г.г. [2]. К 1980-м гг. в целом можно было считать, что теория ДЭЦ была сформирована [3, 4]. Однако после 2000-х направление этих работ актуализировалось, в том числе авторами получен ряд полезных теоретических результатов, признанных как в России [5, 6], так и за рубежом [7 – 9]. Их источником явились разумные предположения, ассоциированные с практической деятельностью в этой области.

Инструментарий современных практических технологий диагностики СЗ признает наиболее перспективным метод, использующий активные измерительные клещи с внутренним синусоидальным генератором. Известное напряжение фиксированной амплитуды и частоты, индуцированное одними клещами, создает ток, измеряемый с помощью вторых клещей. Применительно к задачам диагностики систем заземления удобно в качестве диагностической модели использовать матрицы входных и взаимных проводимостей, если в качестве тестовых воздействий рассматриваются источники э.д.с., а в качестве измеренных параметров – токи в ветвях; возможно использование матрицы входных и передаточных сопротивлений, могут также применяться различные гибридные матрицы.

## Первичная паспортизация СЗ

Первичная паспортизация СЗ является наиболее трудоемким процессом. Ее результатом должно стать множество значений параметров элементов СЗ, т.е.  $p$  параметров по количеству ветвей схемы замещения СЗ. Если  $q$  – количество узлов схемы замещения, а количество независимых контуров равно  $(p - q + 1)$ , то в процессе паспортизации необходимо произвести  $(p - q + 1)(p - q) / 2$  измерений.

Рассмотрим ЭЦ  $N$ , все ветви которой доступны для применения активных измерительных клещей; стоит задача определить пассивные параметры ее ветвей. В качестве диагностической модели принята матрица контурных сопротивлений  $\mathbf{Z}^N$ , элементарным образом связанная с сопротивлениями ее ветвей. Проводятся  $n$  экспериментов, организуя тестовое воздействие в виде независимых источников э.д.с. (рис. 2а).

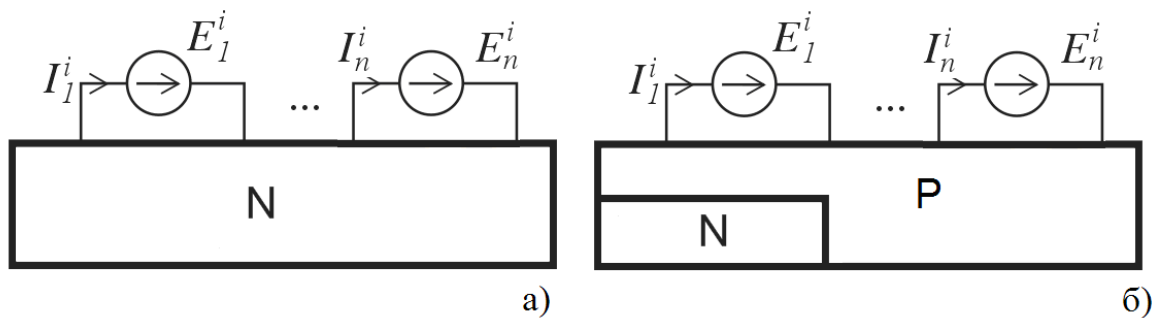


Рис. 2. Представление диагностируемой СЗ в виде обобщенной электрической цепи.

Для  $i$ -го эксперимента имеем  $\mathbf{E}^i = \text{col}[E_1^i, \dots, E_n^i]$ . При этом в каждом эксперименте в  $n$  контурах наблюдаются векторы контурных токов  $\mathbf{I}^i = \text{col}[I_1^i, \dots, I_n^i]$ , связанных с э.д.с. соотношениями:

$$\mathbf{I}^i = (\mathbf{Z}^N)^{-1} \mathbf{E}^i, \quad (i = 1, \dots, n). \quad (1)$$

Объединив векторы э.д.с. всех экспериментов в квадратную матрицу э.д.с.  $\mathbf{E}_\square = [\mathbf{E}_1, \dots, \mathbf{E}_n]$ , составляем квадратную матрицу всех измеренных контурных токов  $\mathbf{I}_\square = [\mathbf{I}_1, \dots, \mathbf{I}_n]$ . Тогда искомая матрица контурных сопротивлений найдется как

$$\mathbf{Z}^N = \mathbf{E}_\square \mathbf{I}_\square^{-1} = [\mathbf{E}_1, \dots, \mathbf{E}_n][\mathbf{I}_1, \dots, \mathbf{I}_n]^{-1}. \quad (2)$$

На основе матрицы  $\mathbf{Z}^N$  легко восстановить структуру и численные значения сопротивлений.

## Диагностика СЗ в процессе эксплуатации

Диагностика СЗ в процессе эксплуатации подразумевает большой объем известной информации, полученной ранее в результате паспортизации СЗ. В процессе эксплуатации целесообразно проверять некоторые гипотезы об изменениях конкретных параметров СЗ, что значительно уменьшает трудоемкость ее решения.

Эта задача может быть расширена по следующим направлениям:  
 можно предположить, что часть пассивных параметров известна;  
 можно предположить, что для уменьшения влияния ошибок измерений задача будет переопределена за счет избыточных измерений;

можно расширить задачу, имея в виду диагностику не пассивной, а активной цепи (с источниками токов на землю), когда величины и места включений этих источников ЭЦ не заданы;

можно расширить задачу, считая, что «простой» многополюсник  $\mathbf{N}$  является частью более сложной электрической цепи и диагностические воздействия на ЭЦ, а также измерения производятся на ветвях, не обязательно связанных с самим многополюсником  $\mathbf{N}$  (рис. 2б).

Рассмотрим последнюю из перечисленных возможностей, сопровождая аналитические выкладки численным примером. Пусть имеется система заземления, представленная эквивалентной электрической цепью  $\mathbf{P}$ . Пусть неизвестными являются параметры некоторого подмножества ветвей  $\mathbf{N} \subset \mathbf{P}$ . Имеется возможность подать независимые воздействия и измерять токи (источники э.д.с.) на множестве ветвей  $\mathbf{M}$ .

Тогда матрица контурных сопротивлений  $\mathbf{Z}$  электрической цепи  $\mathbf{P}$  может быть представлена в виде:

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_{11} & \mathbf{Z}_{12} \\ \mathbf{Z}_{21} & \mathbf{Z}_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\mathbf{Z}^N + \mathbf{Z}_0) & \mathbf{Z}_{12} \\ \mathbf{Z}_{21} & \mathbf{Z}_{22} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где подматрица  $\mathbf{Z}^N$  размера  $(n \times n)$  образована неизвестными параметрами ветвей, а остальные подматрицы включают в себя лишь известные элементы.

Теперь соотношение (1) для  $i$ -го эксперимента примет вид:

$$\begin{bmatrix} (\mathbf{Z}^N + \mathbf{Z}_0) & \mathbf{Z}_{12} \\ \mathbf{Z}_{21} & \mathbf{Z}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{11}^i \\ \mathbf{I}_{22}^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{E}_1^i \\ \mathbf{E}_2^i \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Объединив э.д.с.  $n$  экспериментов  $\mathbf{E}_1^i, \mathbf{E}_2^i$  и результаты измерений  $\mathbf{I}_{22}^i$  в прямоугольные матрицы  $\mathbf{E}_{1\Box}, \mathbf{E}_{2\Box}, \mathbf{I}_{2\Box}$  соответственно, описание экспериментальных режимов ЭЦ получим в виде:

$$\begin{bmatrix} (\mathbf{Z}^N + \mathbf{Z}_0) & \mathbf{Z}_{12} \\ \mathbf{Z}_{21} & \mathbf{Z}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{1\Box} \\ \mathbf{I}_{2\Box} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{E}_{1\Box} \\ \mathbf{E}_{2\Box} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Здесь  $\mathbf{I}_{1\Box}$  – матрица контурных токов в части ЭЦ с неизвестными параметрами.

Полученную систему уравнений (при невырожденности используемых матриц) можно разрешить относительно искомой матрицы параметров  $\mathbf{Z}^N$ :

$$\mathbf{Z}^N = (\mathbf{E}_{1\Box} - \mathbf{Z}_{12} \mathbf{I}_{2\Box}) (\mathbf{Z}_{21}^{-1} (\mathbf{E}_{2\Box} - \mathbf{Z}_{22} \mathbf{I}_{2\Box}))^{-1} - \mathbf{Z}_0. \quad (6)$$

В общем случае известные воздействия – э.д.с. и измерения токов могут производиться в произвольных ветвях. При этом приходится прибегать к более громоздкой классификации элементов рассматриваемых матриц. Так, система уравнений (4) для  $i$ -го эксперимента приобретет вид:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Z}_{11} & \mathbf{Z}_{12} \\ \mathbf{Z}_{21} & \mathbf{Z}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_1^i \\ \mathbf{I}_2^i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}'_{11} & \mathbf{Z}''_{11} \\ \mathbf{Z}'_{21} & \mathbf{Z}''_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{Z}'_{12} & \mathbf{Z}''_{12} \\ \mathbf{Z}'_{22} & \mathbf{Z}''_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{11}^i \\ \mathbf{I}_{1m}^i \\ \mathbf{I}_{22}^i \\ \mathbf{I}_{2m}^i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{E}_1^i \\ \mathbf{E}_2^i \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Здесь обозначения несколько видоизменены. Подразумевается, что искомые параметры сгруппированы в подматрице  $\mathbf{Z}_{11}$ , причем в ней могут присутствовать и известные элементы, ранее обозначавшиеся как  $\mathbf{Z}_0$ ;  $\mathbf{I}_{1m}^i$ ,  $\mathbf{I}_{2m}^i$  – векторы измеренных токов в ветвях соответственно с искомыми и известными параметрами;  $\mathbf{I}_{11}^i$ ,  $\mathbf{I}_{22}^i$  – векторы неизвестных токов в ветвях соответственно с искомыми и известными параметрами.

Перегруппировав известные члены, можем получить выражения для первоначально неизвестных фрагментов векторов токов:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_{11} \\ \mathbf{I}_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}'_{11} & \mathbf{Z}'_{21} \\ \mathbf{Z}''_{11} & \mathbf{Z}''_{21} \end{bmatrix}^{-1} (\mathbf{E}_2 - \mathbf{Z}''_{12} \mathbf{I}_{1m} - \mathbf{Z}''_{22} \mathbf{I}_{2m}). \quad (8)$$

Далее, аналогично (5) сформируются квадратные матрицы

$$\mathbf{I}_{1\Box} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{11} \\ \mathbf{I}_{1m} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{I}_{2\Box} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{22} \\ \mathbf{I}_{2m} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{E}_{1\Box} = \begin{bmatrix} \mathbf{E}_{11} \\ \mathbf{E}_{1m} \end{bmatrix},$$

и окончательно получим

$$\mathbf{Z}^N = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}'_{11} & \mathbf{Z}''_{11} \end{bmatrix} = \left( \mathbf{E}_1^i - \begin{bmatrix} \mathbf{Z}'_{12} & \mathbf{Z}''_{12} \\ \mathbf{Z}'_{22} & \mathbf{Z}''_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{21} \\ \mathbf{I}_{2m} \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{11} \\ \mathbf{I}_{1m} \end{bmatrix}^{-1} - \mathbf{Z}_0. \quad (9)$$

### Пример решения задачи диагностики параметров СЗ

Рассмотрим математическую модель СЗ, представленную эквивалентной схемой на рис. 3. Она содержит 30 ветвей, в ней можно выделить 12 независимых контуров.

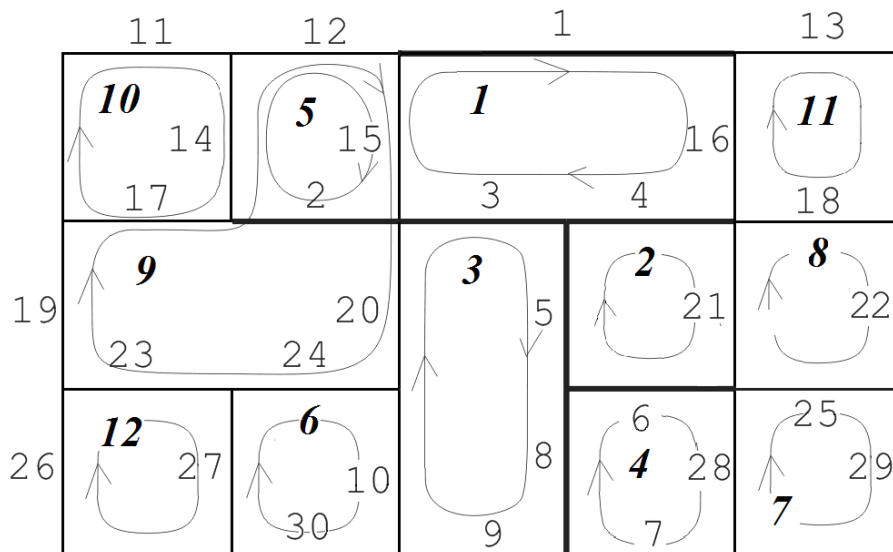


Рис. 3. Схема тестового примера (1,...,12 – номера контуров; 1,..., 30 – номера ветвей).

Выделив ветви с искомыми параметрами (с номерами 1, ..., 9, они инцидентны контурам с номерами 1, ..., 6), в соответствии с принятой системой контуров и в соответствии с представлением (7) получим выражение для фрагментов матрицы контурных сопротивлений:

$$\begin{aligned}
 [\mathbf{Z}'_{11} \quad \mathbf{Z}''_{11}] &= \begin{bmatrix} (z_1 + z_3 + z_4) & -z_4 & -z_3 & 0 & 0 \\ -z_4 & (z_4 + z_5 + z_6) & -z_5 & -z_6 & 0 \\ -z_3 & -z_5 & (z_3 + z_5 + z_8 + z_9) & -z_8 & 0 \\ 0 & -z_6 & -z_8 & (z_6 + z_7 + z_8) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & z_2 \end{bmatrix} + \\
 + \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} &= \mathbf{Z}^N + \mathbf{Z}_0;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\mathbf{Z}'_{12}] &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & -1 \end{bmatrix}; \quad [\mathbf{Z}''_{12}] = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad [\mathbf{Z}'_{21}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -1 \\ -1 & 0 \\ 0 & 0 \\ -1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\mathbf{Z}''_{21}] &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad [\mathbf{Z}'_{22}] = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 4 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 4 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 8 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 4 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}; \quad [\mathbf{Z}''_{22}] = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 0 \\ -1 & 0 \\ 0 & -1 \\ 0 & 0 \\ 4 & 0 \\ 0 & 4 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

Здесь приняты следующие известные численные параметры ветвей (в безразмерных величинах):

$$z_{11} = z_{13} = z_{26} = z_{29} = 2;$$

$$z_k = 1, \quad (k = 12, \dots, 30, \quad k \neq (11, 13, 26, 29)).$$

Подавать тестовые э.д.с. будем в контурах с номерами 1, ..., 5, а измерять токи на множестве ветвей  $\{2, 1, 9, 21, 10\}$ . Эти измерения соответствуют измерению токов на множестве контуров  $\{3, 4, 5, 11, 12\}$ .

Пусть  $\mathbf{E}_{10} = \text{diag}(10, 10, 10, 10, 10)$ , при этом получим матрицы измерений:

$$\mathbf{I}_{1m} = \begin{bmatrix} 0.690 & 1.118 & 2.382 & 0.962 & -0.302 \\ 0.466 & 1.354 & 0.962 & 3.328 & -0.079 \\ 0.359 & -0.001 & -0.302 & -0.079 & 3.868 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{I}_{2m} = \begin{bmatrix} 0.653 & 0.538 & 0.282 & 0.281 & 0.095 \\ 0.144 & 0.189 & 0.380 & 0.157 & -0.523 \end{bmatrix}.$$

По формуле (8) вычисляем неизмеренные токи:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{I}_{11} \\ \mathbf{I}_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.1497 & 0.9390 & 0.6940 & 0.4735 & 0.3538 \\ 0.9639 & 3.6723 & 1.1050 & 1.3264 & 0.0232 \\ 0.2820 & 0.4126 & 0.8564 & 0.3494 & -0.5834 \\ 0.2321 & 0.6418 & 0.3490 & 0.9946 & -0.0132 \\ 0.4623 & 1.2130 & 0.4340 & 0.6505 & 0.0262 \\ 0.2940 & 0.3434 & 0.6636 & 0.2786 & -1.5086 \\ 0.1632 & 0.0856 & 0.0904 & 0.0499 & 0.5898 \end{bmatrix},$$

и, применив выражение (9), получаем:

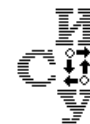
$$\begin{bmatrix} \mathbf{Z}'_{11} & \mathbf{Z}''_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.0312 & -0.9820 & -1.0193 & -0.0275 & -0.9913 \\ -1.0426 & 3.9686 & -0.9704 & -0.9578 & -0.0170 \\ -0.9924 & -0.9940 & 5.9934 & -1.0063 & 0.0033 \\ 0.0105 & -0.9921 & -1.0066 & 3.9887 & 0.0044 \\ -1.0027 & -0.0006 & 0.0011 & 0.0014 & 3.9997 \end{bmatrix} = \mathbf{Z}^N + \mathbf{Z}_0.$$

Обратим внимание, что внедиагональные ненулевые элементы матрицы  $\mathbf{Z}^N$ , как показано выше, представляют собой взятые с отрицательным знаком искомые параметры сопротивлений соответствующих ветвей, другие же искомые параметры могут быть получены просто из диагональных членов этой матрицы. Вычтя  $\mathbf{Z}_0$ , усреднив результат относительно главной диагонали и округлив, окончательно получим оценки значений параметров ветвей:

$$\{z_1, \dots, z_9\} = \{2.01, 1.00, 1.01, 1.01, 0.98, 0.98, 1.01, 1.01, 1.00\}.$$

## Выводы

СЗ современных объектов представляют собой весьма разветвленную систему со многими десятками и сотнями элементов, параметры которых зависят от метеоусловий и деградируют во времени. Практические работы по измерениям их параметров трудоемки и производятся далеко не в лабораторных условиях. При построении и сопровождении в процессе эксплуатации математической модели СЗ приходится считаться с целым рядом практических ограничений. Показано, что повышение достоверности информации о значениях параметров СЗ и оптимизация процесса их контроля должны базироваться на теоретическом фундаменте теории диагностики электрических цепей. Новая формализация задачи, ориентированная на практику эксплуатации СЗ, продемонстрирована на примере.



ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 50571.10-96 Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники – М.: Стандартинформ, 2012.
2. Berkowitz R.S. Conditions for Network-Element-Value Solvability // IRE Transactions on Circuit Theory. – 1962. – P.24-29.
3. Киншт Н.В., Герасимова Г.Н., Кац М.А. Диагностика электрических цепей. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
4. Демирчян К.С., Бутырин П.А. Моделирование и машинный расчет электрических цепей. – М.: Высшая школа, 1988.
5. Киншт Н.В., Петрунько Н.Н. О двух концепциях в теории диагностики электрических цепей // Электричество. – 2012. – №9. – С.59-64.
6. Киншт Н.В., Петрунько Н.Н. Тестовая диагностика активных электрических цепей на основе коммутационных воздействий // Электричество. – 2014. – №6. – С.49-56.
7. Kinsht N., Petrun'ko N. Some Opportunities of Circuit Test Diagnosis // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 373-375. – P.927-931.
8. Kinsht N.V., Petrun'ko N.N. Load Modes Variation in the Circuit Test Diagnosis // International Journal of Automation and Power Engineering. – 2014. – Vol. 3, Issue 1. – P.23-27.
9. Kinsht N.V., Petrun'ko N.N. A Way to Chips Diagnosis by Short Circuits // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 918. – P.307-312.

*E-mail*

Киншт Николай Владимирович – kin@dvo.ru;

Петрунько Наталья Николаевна – pnn@dvo.ru.

УДК 519.677

© 2015 г. **А.П. Кудряшов**, канд. техн. наук,  
**А.С. Черкашин**

(Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток)

## ПОСТРОЕНИЕ ЕДИНОЙ ТРИАНГУЛЯЦИОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО НАБОРУ ВИДОВ С ЗАШИВКОЙ ДЫР

Предложен алгоритм зашивки дыр при построении трехмерной модели по дальностным данным, основанный на диффузном размывании воксельного пространства. Алгоритм основан на совместном построении весовой функции как вдоль нормалей, так и вдоль линии наблюдения в воксельном пространстве, описываемом октантным деревом. Реализована вычислительная схема с организацией параллельных вычислений на многоядерных процессорах, позволяющая значительно сократить время работы алгоритма.

**Ключевые слова:** воксельное пространство, трехмерная реконструкция, триангуляционная оболочка, зашивка отверстий, октодерев, диффузное размывание.