

*Грозных А. Н.  
горный инженер-геофизик,  
Россия, г. Санкт-Петербург*

**АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ПРЯМОГО СПОСОБА  
РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СОЕДИНЕНИЙ ТИПА «ЗВЕЗДА»  
МЕТОДОМ ВИРТУАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ**

*Аннотация: в ходе анализа системы уравнений {1} сначала выполнена двухмерная развертка распределения токов, а затем создана трехмерная модель их распределения. Данная модель можно считать графическим представлением закона сохранения и преобразования энергии.*

*Ключевые слова: соединения типа «звезда» и «треугольник», виртуальные компоненты, двухмерная развертка, трехмерная модель распределения токов, «матрица поля», закон сохранения и преобразования энергии.*

*Groznykh A. N.  
mining engineer-geophysicist  
Russia, Sankt-Petersburg*

**ANALYSIS OF THE EQUATION SYSTEM OF THE DIRECT  
METHOD OF CALCULATING THE PARAMETERS OF STAR-TYPE  
CONNECTIONS BY THE VIRTUAL COMPONENT METHOD**

*Abstract: During the analysis of the system of equations {1}, first a two-dimensional layout of current distribution was made, and then a three-dimensional model of their distribution was created. This model can be considered a graphical representation of the energy conservation and transformation law.*

*Keywords: star and triangle connections, virtual components, two-dimensional sweep, three-dimensional current distribution model, "field matrix", energy conservation and transformation law.*

## АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ ПРЯМОГО РАСЧЕТА ТОКОВ В ВЕТВЯХ СОЕДИНЕНИЙ ТИПА «ЗВЕЗДА»

В предыдущей работе [4] показана принципиальная возможность прямого расчета токов и потенциала общей точки соединений типа «звезда» с использованием следующей схемы (рис.1), которая требует некоторых пояснений.

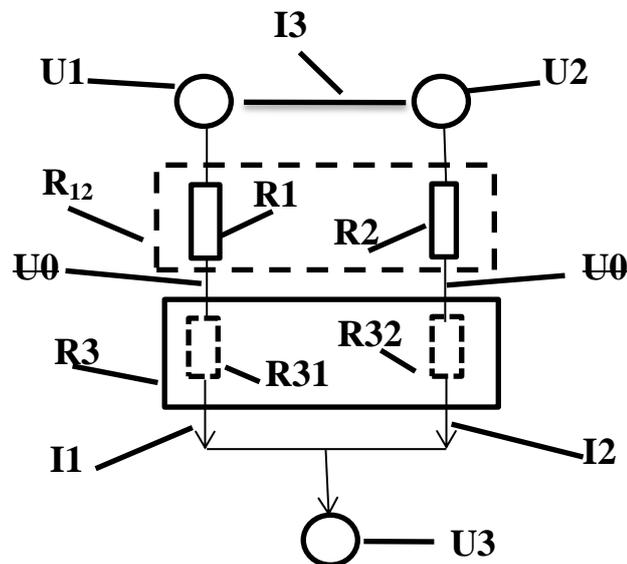


Рисунок 1.

$R_1, R_2, R_3$  – сопротивления ветвей соединения, Ом;

$R_{31}, R_{32}, R_{12}$  – виртуальные сопротивления ветвей соединения, Ом;

$I_1, I_2, I_3$  – токи ветвей, А;  $U_0$  – напряжение общей точки, В;

$U_1, U_2, U_3$  – напряжения узлов относительно общего нуля, В.

Ток узла рассчитывается как алгебраическая сумма:  $I_3 = I_1 + I_2$ .

Аналогичные процедуры выполнены для остальных узлов с корректировкой индексации виртуальных компонентов.

При обосновании вывода формул использовалась несколько упрощенная схема с использованием двух виртуальных компонентов  $R_{31}, R_{32}$  и расчетного значения  $R_{12}$  при параллельном включении, но не были указаны в обеих цепей точки  $U_0$  по формальному основанию – отсутствию тока

между ними ввиду отсутствия разности напряжений. Так как согласно закону Ома  $I = \Delta U/R$ , а в этой точке разность напряжений равна нулю, то ток равен нулю, а сопротивление этой цепи можно условно считать равным бесконечности.

В случае практической необходимости приведенная ниже система уравнений:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= (U_1 - U_2) / (R_2 + R_1 * (1 + R_2 / R_3)) + (U_1 - U_3) / (R_3 + R_1 * (1 + R_3 / R_2)) \\ I_2 &= (U_2 - U_1) / (R_1 + R_2 * (1 + R_1 / R_3)) + (U_2 - U_3) / (R_3 + R_2 * (1 + R_3 / R_1)) \\ I_3 &= (U_3 - U_1) / (R_1 + R_3 * (1 + R_1 / R_2)) + (U_3 - U_2) / (R_2 + R_3 * (1 + R_2 / R_1)) \end{aligned} \right\} \{1\}$$

может быть представлена в другом виде:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= ((U_1 - U_2) * R_3 + (U_1 - U_3) * R_2) / (R_1 * R_2 + R_1 * R_3 + R_2 * R_3) \\ I_2 &= ((U_2 - U_1) * R_3 + (U_2 - U_3) * R_1) / (R_1 * R_2 + R_1 * R_3 + R_2 * R_3) \\ I_3 &= ((U_3 - U_1) * R_2 + (U_3 - U_2) * R_1) / (R_1 * R_2 + R_1 * R_3 + R_2 * R_3) \end{aligned} \right\} \{2\}$$

Значения токов узлов можно рассчитывать без применения алгебраического сложения по следующим формулам по отдельности и в разных вариантах в зависимости от решаемых задач:

$$\begin{aligned} I_1 &= (U_2 - U_1) / (R_1 + R_2 * (1 + R_1 / R_3)) = (U_3 - U_1) / (R_1 + R_3 * (1 + R_1 / R_2)) \\ I_2 &= (U_1 - U_2) / (R_2 + R_1 * (1 + R_2 / R_3)) = (U_3 - U_2) / (R_2 + R_3 * (1 + R_2 / R_1)) \\ I_3 &= (U_1 - U_3) / (R_3 + R_1 * (1 + R_3 / R_2)) = (U_2 - U_3) / (R_3 + R_2 * (1 + R_3 / R_1)) \end{aligned}$$

В содержательном плане интересна схема распределения токов (рис.2), построенная на основе системы уравнений {1}, в связи с тем, что на системе векторов реальных токов («звезда») накладывается система виртуальных токов («треугольник».)

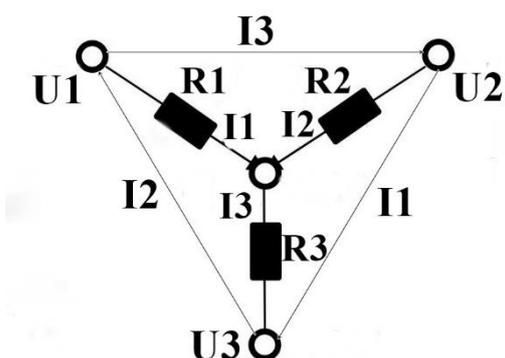


Рисунок 2.

Разные схемы распределения токов по результатам решения одного уравнения могут свидетельствовать

об объёмном характере процесса, что вызвало потребность найти уравнения для расчета виртуальных узлов. Наличие двух общих узлов и равенство одноименных токов позволяет предположить идентичность используемых уравнений для расчетов разных видов соединений. В этом случае виртуальный узел является зеркально симметричным соответствующему реальному узлу в двумерной плоскости. Предлагаемый вариант и его дальнейшие преобразования показаны на рисунках 3, 4, 5. Суть сводится к тому, что параллельное включение для реальных цепей узла заменяется на последовательное для виртуального узла, то есть один и тот же процесс рассматривается в ортогональных проекциях. В результате сводная схема распределения токов представляет из себя двумерную развертку трехмерного процесса (Рис.6).

Это наглядно доказывает эквивалентность соединений типа «звезда» и «треугольник». В отличие от традиционных методов преобразования [1, с.35] никаких дополнительных вычислений не требуется.

В качестве основы для построения трёхмерной модели распределения токов (рис.7) использована виртуальная эквипотенциальная плоскость на базе общей точки  $U_0$ , которая в принципе может иметь площадь любой конфигурации.

Потенциалы узлов выбраны произвольно -  $U_1 = 2*U_2$ ;  $U_2$ ;  $U_3 = -3*U_2$ . При прочих равных условиях соотношение токов -  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  будет аналогичным.

Добавлены два виртуальных компонента после того, как контурами выделены реальные потенциалы и симметричные виртуальные –  $S_r$  и  $S_v$  соответственно (рис.8, 9). Геометрические центры плоскостей, ограниченных контурами, совпадают друг с другом и положением общей точки потенциалов  $U_0$ .

В связи с сильной загрузкой изображения (рис.7), для уточнения положения характерных точек  $U_0$  и  $I_0$ , выполнены отдельно две взаимосвязан-

ные проекции (рис. 8, 9). Условные обозначения для всех рисунков в тексте статьи являются сквозными.

Рис. 4

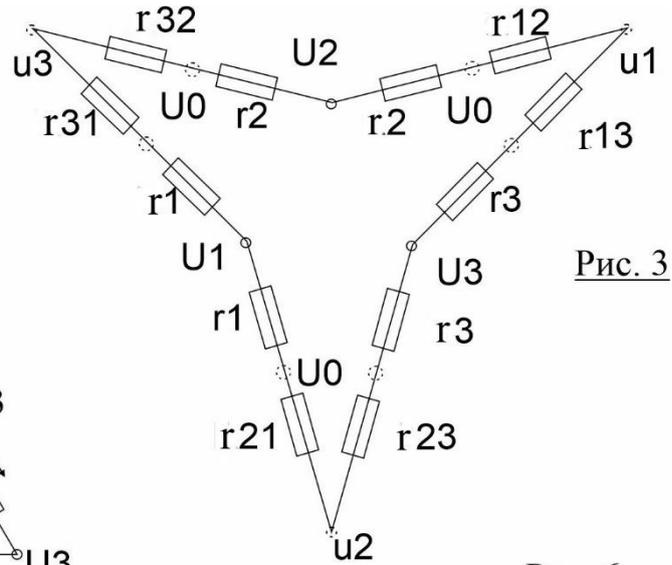
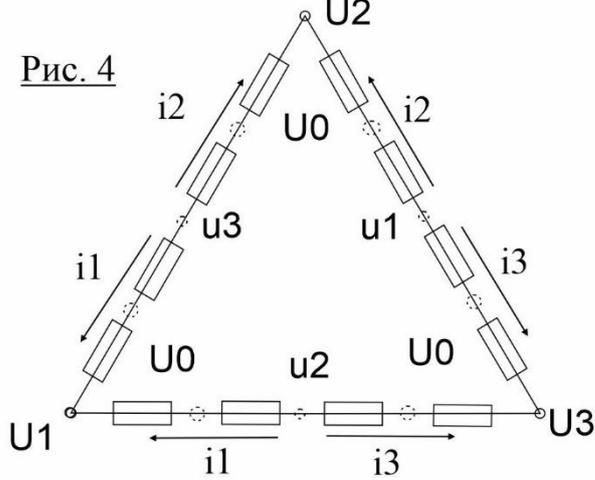


Рис. 3

Рис. 6

Рис. 5

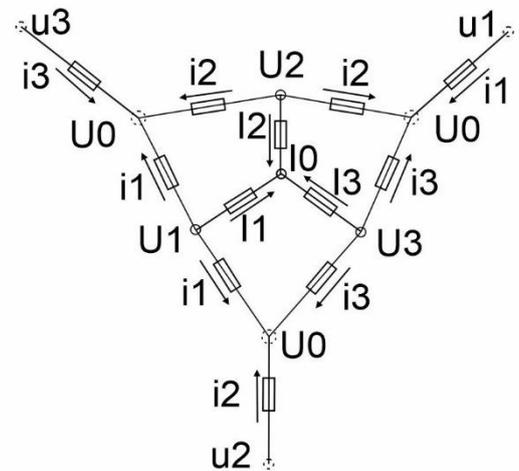
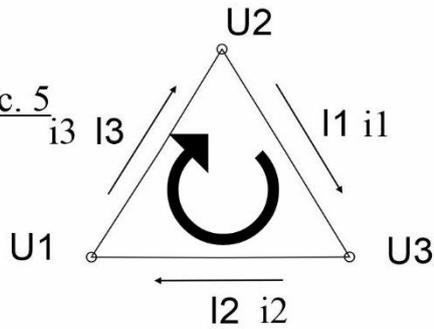
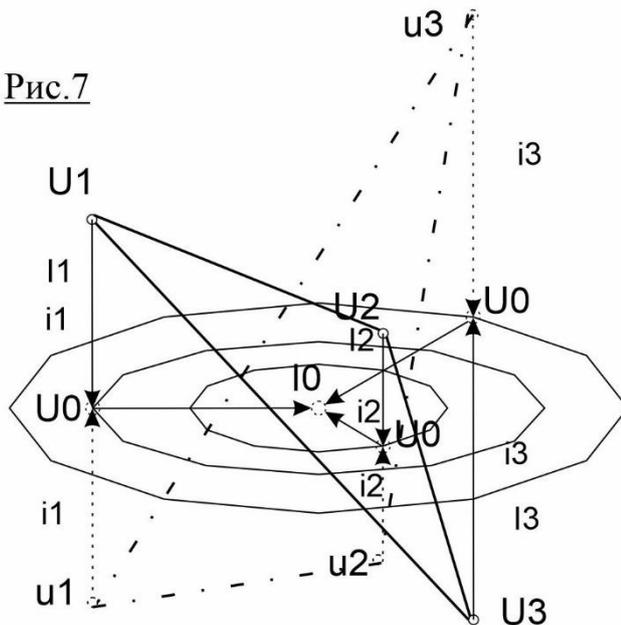


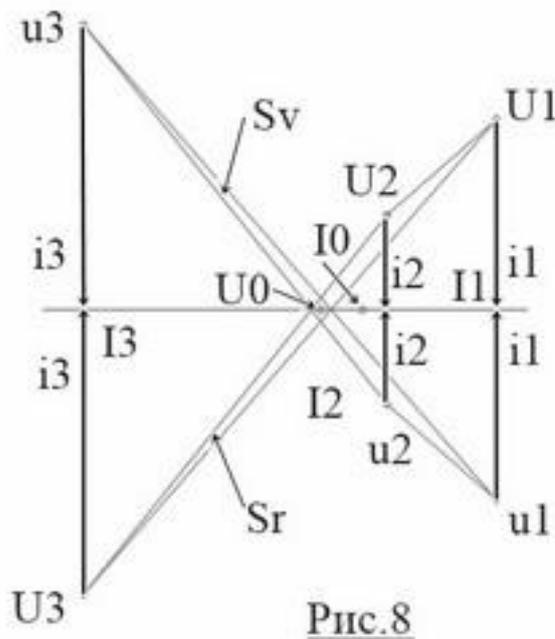
Рис.7



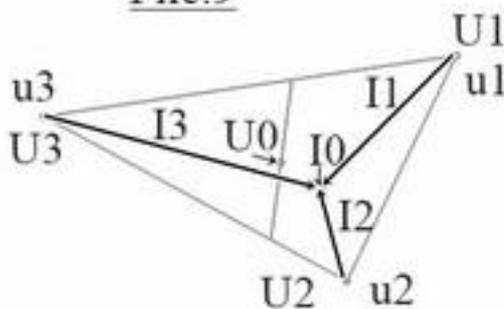
**ОБОЗНАЧЕНИЯ:**

- $U_1, U_2, U_3$  - потенциалы (напряжения) узлов, В;
- $u_1, u_2, u_3$  - потенциалы виртуальных узлов, В;
- $I_1, I_2, I_3$  - токи реальных цепей и узлов, А;
- $i_1, i_2, i_3$  - токи виртуальных цепей и узлов, А;
- $U_0$  - потенциал общей точки, В;
- $I_0$  - токи общей точки (сумма токов), А.

Все построения выполнены в полном соответствии с первым и вторым законами Кирхгофа. Для каждой пары потенциалов токи, направленные встречно, контролируют положение потенциала общей точки, другая пара векторов тока, включенная последовательно, формирует положение резуль-



**Рис.9**



тирующего вектора, который может действовать по-разному - в плоскости эквипотенциальной поверхности и по нормали к ней.

При детальном рассмотрении характерных точек  $U_0$  и  $I_0$  (рис. 8, 9) отчетливо видно, что их положения в эквипотенциальной плоскости  $U_0$  не совпадают при наличии разности потенциалов. Это создает плечо силы (рычаг), который приводит к вращению точки  $I_0$  вокруг  $U_0$ . Ось вращения при этом перпендикулярна этой поверхности. В случае объемного тела результирующий вектор направлен перпендикулярно

плоскости  $U_0$  и вращение происходит вокруг оси, лежащей в ней. Система выполняет работу по преобразованию поступательного движения во вращательное, что приводит к выравниванию потенциалов, в том числе за счет изменения его уровня.

Описание процессов приводит к выводу, что трехмерная модель распределения токов по сути дела является детальной графической иллюстрацией общего закона сохранения и преобразования энергии без разделения на механику, термодинамику, электричество и т.д..

Это означает, что систему уравнений {1} можно применять к анализу процессов в трехмерном пространстве независимо от типа поля и состояния среды. На основании вышеизложенного можно считать систему уравнений {1} своеобразной матрицей трехмерного поля.

Трехмерная модель матрицы наглядно показывает, что процессы идут по собственным начальным и конечным условиям, которые определяются внутренними и внешними свойствами сред.

Характер изложения материала обусловлен опытом работы по решению «обратной задачи» при обработке геофизических материалов, а также многолетним стажем освоения, внедрения и использования оборудования и аппаратуры для анализа химического состава вещества.

#### Литература:

1. Бычков Ю. А., Золотницкий В. М., Чернышев Э. П., Белянин А. Н. *Основы теоретической электротехники*. Учебное пособие; СПб; изд-во «Лань», 2008. (В личном пользовании).
2. Бычков Ю. А., Золотницкий В. М., Чернышев Э. П., Белянин А. Н., Соловьева Е. Б. *Сборник задач по основам теоретической электротехники*. Учебное пособие; СПб; изд-во «Лань», 2011. (В личном пользовании).
3. Ремизов А. Н., Потапенко А. Я. *Курс физики*. Учебник для вузов. Москва; изд-во «Дрофа», 2006. (В личном пользовании).
4. Грозных А. Н. *Прямой способ расчетов соединения типа «звезда» методом виртуальных компонентов*. Международный научно-практический журнал «Мировая наука» №2(47) 2021. ISSN 2541-9258